



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

1 de 1

Neiva, 29 de julio 2019

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

El suscrito:

Rubén Darío Valbuena Villarreal, con C.C. No. 12.112.433, Autor de la tesis titulado: "Relación entre la actividad enzimática digestiva, la digestibilidad de nutrientes y el desempeño productivo en juveniles de capaz (*Pimelodus grosskopfii*) alimentados con diferentes materias primas de origen animal y vegetal".

Presentado y aprobado en el año 2019 como requisito para optar al título de Doctor en Agroindustria y Desarrollo Agrícola Sostenible

Autorizo al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que, con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales "open access" y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato CD-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, "Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores", los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: _____

Vigilada Mineducación



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

1 de 1

Neiva, 29 de julio 2019

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

El suscrito:

Rubén Darío Valbuena Villarreal, con C.C. No. 12.112.433, Autor de la tesis titulado: "Relación entre la actividad enzimática digestiva, la digestibilidad de nutrientes y el desempeño productivo en juveniles de capaz (*Pimelodus grosskopfii*) alimentados con diferentes materias primas de origen animal y vegetal".

Presentado y aprobado en el año 2019 como requisito para optar al título de Doctor en Agroindustria y Desarrollo Agrícola Sostenible

Autorizo al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que, con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales "open access" y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato CD-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, "Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores", los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: _____

Vigilada Mineducación

Relación entre la Actividad Enzimática Digestiva, la Digestibilidad de Nutrientes y el Desempeño Productivo en Juveniles de Capaz (*Pimelodus grosskopfii*) Alimentados con Diferentes Materias Primas de Origen Animal y Vegetal.

Rubén Darío Valbuena Villarreal

Universidad Surcolombiana
Facultad de Ingeniería
Programa Doctorado en Agroindustria y Desarrollo Agrícola Sostenible
Neiva, Huila - Colombia
2019

Relación entre la Actividad Enzimática Digestiva, la Digestibilidad de Nutrientes y el Desempeño Productivo en Juveniles de Capaz (*Pimelodus grosskopfii*) Alimentados con Diferentes Materias Primas de Origen Animal y Vegetal.

Rubén Darío Valbuena Villarreal

Tesis presentada como requisito parcial para la obtención del título de Doctor en Agroindustria y Desarrollo Agrícola Sostenible.

Orientador
Eduardo Pastrana Bonilla, Ph.D.
Docente USCO

Universidad Surcolombiana
Facultad de Ingeniería
Programa Doctorado en Agroindustria y Desarrollo Agrícola Sostenible
Neiva, Huila - Colombia
2019

Comisión Evaluadora

Angélica María Otero Paternina, Ph.D.

Universidad Surcolombiana – Colombia

Martha Alicia Perera García, Ph.D.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco – México

Mario Sánchez Ramírez, Ph.D.

Universidad Surcolombiana – Colombia

Docente Eduardo Pastrana Bonilla, Ph.D.

Universidad Surcolombiana, Colombia

Orientador

Dedicatoria

A mi familia por tener la paciencia para esperarme cada día: Tuchita,
Dianita, Rubencho, Lalita, Alejo, Camila y Martin.

Agradecimientos

Expreso mis sinceros agradecimientos:

A mi director Eduardo Pastrana Bonilla, por darme la oportunidad de realizar este trabajo bajo su orientación y sobre todo por su paciencia y aportes a la investigación.

A Beatriz Elena Zapata por su apoyo personal y profesional en el desarrollo del proyecto.

A los funcionarios de la Estación Experimental Surcolombiana de Recursos Hidrobiológicos: Pequi, Karen y Over por el apoyo en la fase experimental.

A la Vicerrectoría de Investigaciones y proyección social de la Universidad Surcolombiana por el apoyo económico para la realización del Doctorado.

A los Docentes del Doctorado en Agroindustria y Desarrollo Agrícola Sostenible de la Universidad Surcolombiana por todo lo enseñado en este proceso: Mario Sanchez, Alfredo Olaya, Armando torrente y Juan Carlos Acebedo.

Contenido

Objetivos	9
Objetivos Específicos	9
Capítulo 1. Aspectos de Nutrición en Silúridos con Potencial para el Cultivo de Especies Nativas en Colombia	10
Resumen	10
Abstract	10
Introducción	11
Aspectos Morfológicos y Fisiológicos en Silúridos.....	14
Requerimientos Nutricionales	16
Energía.....	17
Proteína.....	18
Lípidos.....	20
Perspectivas a Escala Comercial.....	21
Conclusiones	21
Referencias Bibliográficas	22
Capítulo 2. Desempeño Productivo y Composición Corporal de Juveniles de Capaz <i>Pimelodus grosskopfii</i> , Alimentados con Diferentes Fuentes de Proteína.	29
Resumen	29
Introducción	31
Materiales y Métodos	33
Localización.....	33
Material biológico.....	33
Unidades experimentales.....	34
Dietas experimentales.....	34
Análisis bromatológicos.....	35
Pruebas de crecimiento y desempeño.....	36
Análisis estadístico.....	38
Resultados	39
Parámetros de desempeño	40
Índices corporales.....	47
Discusión.....	49

Capítulo 3. Digestibilidad y Actividad Enzimática Digestiva en Juveniles de Capaz <i>Pimelodus grosskopfii</i> , Alimentados con Diferentes Fuentes de Proteína.	56
Resumen	56
Abstract	57
Introducción	58
Materiales y Métodos	60
Localización.....	60
Material biológico..	61
Unidades experimentales.....	62
Determinaciones Enzimáticas	62
Obtención de la muestra.	62
Preparación homogenizados enzimáticos.....	62
Ensayos Enzimáticos.....	63
Actividad proteasa inespecífica.	63
Actividad amilasa.	63
Actividad de lipasa no especifica.	64
Determinación de proteína total.	64
Digestibilidad de Dietas Experimentales.....	65
Alimentación y colecta de heces.	65
Determinación de los coeficientes de digestibilidad.	65
Análisis estadístico..	66
Resultados	66
Parámetros de calidad de agua.....	66
Actividad enzimática.	66
Coeficientes de digestibilidad.....	70
Discusión.....	73
Referencias Bibliograficas	77
Conclusiones Generales	79

Índice de Tablas

Tabla 1. Principales especies de silúridos de interés comercial y sus hábitos alimenticios en el medio natural	15
Tabla 2. Morfología del sistema digestivo en relación al hábito alimenticio para tres especies de silúridos.....	16
Tabla 3. Porcentaje (%) Coeficiente de digestibilidad aparente (CDA) de la fracción proteica y energía para dos especies de silúridos.	17
Tabla 4. Nivel de proteína óptimo y la relación proteína/energía para algunas de las especies de silúridos sudamericanos.	19
Tabla 5. Formulación de dietas semipurificadas para la alimentación de alevinos de capaz <i>Pimelodus grosskopfii</i> , bajo condiciones de laboratorio.	35
Tabla 6 .Promedio \pm DS de los registros iniciales y finales del peso (g) y longitud total (cm) para los juveniles de capaz para cada uno de los tratamientos. HP (Harina pescado), HC (Harina de carne), SC (Soya cruda), HP+TS (Harina pescado+torta de soya) y HC+TS (Harina de carne+torta de soya).	40
Tabla 7. Valores medios y resultados de las comparaciones entre los parámetros evaluados al final del ensayo sobre los juveniles de capaz para cada uno de los 6 tratamientos experimentales. Los datos se expresan como media \pm desviación estándar (DE).	46
Tabla 8. Promedio \pm SD de los Índices corporales evaluados al inicio del ensayo y a los 60 días en juveniles de capaz (<i>Pimelodus grosskopfii</i>) para las diferentes dietas evaluadas. HP (Harina pescado), HC (Harina de carne), SC (Soya cruda), HP+TS (Harina pescado+ torta de soya) y HC+TS (Harina de carne+ torta de soya). Índice hepatosomático (IHS), Índice viscerosomático (IVS) e Índice de grasa visceral (IGV).	47
Tabla 9. Formulación de dietas semipurificadas para la alimentación de alevinos de capaz <i>Pimelodus grosskopfii</i> , bajo condiciones de laboratorio.	61
Tabla 10. Valores medios y resultados de las comparaciones entre los parámetros enzimáticos evaluados al final del ensayo sobre los juveniles de capaz para cada uno de los 6 tratamientos experimentales. Los datos se expresan como media \pm desviación estándar (DE).	68
Tabla 11. Valores medios del coeficiente de digestibilidad aparente (% CDA) al final del ensayo sobre los juveniles de capaz para cada uno de los 6 tratamientos experimentales. Los datos se expresan como media \pm desviación estándar (DE).	71
Tabla 12. Valores de correlación entre el coeficiente de digestibilidad aparente (CDA) y los valores de respuesta de actividad enzimática.....	73

Índice de Figuras

Figura 1. Supervivencia al final del ensayo en juveniles de capaz (<i>Pimelodus grosskopfii</i>) para las diferentes dietas evaluadas..	39
Figura 2. Ganancia de talla y peso acumuladas al final del ensayo en juveniles de capaz (<i>Pimelodus grosskopfii</i>) para las diferentes dietas evaluadas..	41
Figura 3. Tasa específica de crecimiento (SGR) al final del ensayo en juveniles de capaz (<i>Pimelodus grosskopfii</i>) para las diferentes dietas evaluadas.....	42
Figura 4. Consumo total de materia seca (a.), Consumo total de materia seca (gMS/pez/día) (b.) y consumo (gMS/kg/día) (c.) del ensayo en juveniles de capaz (<i>Pimelodus grosskopfii</i>) para las diferentes dietas evaluadas.....	43
Figura 5. Factor de condición final (K) del ensayo en juveniles de capaz (<i>Pimelodus grosskopfii</i>) para las diferentes dietas evaluadas..	44
Figura 6. Eficiencia del alimento (EA) al final del ensayo en juveniles de capaz (<i>Pimelodus grosskopfii</i>) para las diferentes dietas evaluadas..	45
Figura 7. Promedio \pm SD de los Índices corporales evaluados al inicio del ensayo y a los 60 días en juveniles de capaz (<i>Pimelodus grosskopfii</i>) para las diferentes dietas evaluadas.....	48
Figura 8. Actividad enzimática relativa de proteasa, proteasa inespecífica y amilasa en estómago e intestino de capaz (<i>Pimelodus grosskopfii</i>) expresada en porcentaje (%).	67
Figura 9. Actividad de la proteasa en el estómago (a.) e intestino (b.) de capaz (<i>Pimelodus grosskopfii</i>) para las diferentes dietas evaluadas.	69
Figura 10. Actividad proteolítica inespecífica alcalina (a) y ácida (b) (<i>Pimelodus grosskopfii</i>) para las diferentes dietas evaluadas..	69
Figura 11. Actividad amilohidrolítica en el estómago (a.) e intestino (b.) de capaz (<i>Pimelodus grosskopfii</i>) para las diferentes dietas evaluadas.	70
Figura 12. Coeficiente de digestibilidad aparente (CDA) de materia seca, proteína y (%) proteína digestible de capaz (<i>Pimelodus grosskopfii</i>) para las diferentes dietas evaluadas.	72

Objetivos

Objetivo General

Evaluar los procesos digestivos asociados a la actividad enzimática y el desempeño productivo de juveniles de capaz alimentados a partir de dietas experimentales semipurificadas elaboradas con diferentes materias primas de origen animal y vegetal.

Objetivos Específicos

- Cuantificar la actividad de la proteasa inespecífica, amilasa y lipasa en juveniles de capaz alimentados con diferentes materias primas de origen animal y vegetal.
- Evaluar el comportamiento de los principales parámetros de desempeño productivo en capaz alimentados con diferentes dietas de origen animal y vegetal.
- Evaluar la digestibilidad de materia seca, proteína y energía de las diferentes dietas utilizadas en la alimentación de juveniles de capaz.

Capítulo 1. Aspectos de Nutrición en Silúridos con Potencial para el Cultivo de Especies Nativas en Colombia

Resumen

Los silúridos, mejor conocidos como bagres han permitido el desarrollo de una gran industria a nivel mundial por su carne de gran valor nutricional y exquisitez, lo cual ha logrado consolidar un mercado de gran futuro proyección y una alternativa en la acuicultura colombiana; adicionalmente estas especies ícticas presentan características ideales de manejo tales como fácil aceptación del concentrado como dieta, rápido crecimiento, excelente conversión alimenticia y tolerancia a un amplio rango de factores físicos y químicos. En Colombia el mercado de estas especies ícticas es sustentado por la pesca artesanal y actualmente ninguna especie ha ingresado sólidamente a los sistemas productivos en cultivos intensivos con paquetes tecnológicos estandarizados en el mercado de la acuicultura. El objetivo de la presente revisión es presentar el estado actual de los aspectos más importantes como el manejo adecuado de los requerimientos nutricionales a nivel de cultivos de especies de silúridos que hacen parte de los sistemas de producción a nivel mundial, con el fin de plantear la viabilidad de ingresar especies de silúridos endémicas como una alternativa en el mercado y así ampliar la oferta de especies en la industria de la acuicultura colombiana.

Palabras clave: Acuicultura, bagres, enzimas digestivas, alevinos, producción, perspectiva.

Abstract

Silurids, better known as catfish, have allowed the development of a large industry worldwide for its great nutritional value meat and deliciousness, which has managed to consolidate a great promising market and an alternative in Colombian aquaculture. Additionally, these fish species have ideal management characteristics such as easy acceptance of the concentrate as a diet, rapid

growth, excellent feed conversion and tolerance to a wide range of physical and chemical factors. In Colombia, the market for these fish species is supported by craft fishing and currently no species has solidly entered into the productive systems intensive farming with standardized technological packages in the aquaculture market. This review aims at presenting the current state of the most important aspects such as the proper management of the nutritional requirements for the crops of silurid species as part of the production systems worldwide, to determine the feasibility of entering endemic silurid species as an alternative in the market and thus increase the supply of species in the Colombian aquaculture industry.

Key words: Aquaculture, catfish, digestive enzymes, fries, production, perspective.

Introducción

La pesca artesanal representa una de las principales actividades económicas para las regiones de la Amazonia, Orinoquia y Caribe, que ha sustentado el mercado a nivel nacional de especies ícticas a lo largo de las últimas décadas; lo cual genera preocupación con respecto al concepto del llamado “esfuerzo pesquero” y su relación con los recursos ícticos y reservorios genéticos (Fabré et al., 2000) reflejado en la dramática disminución en los volúmenes de captura. Dentro de este recurso pesquero el 35% de las especies ícticas que son comercializadas en estas cuencas pertenecen al orden Siluriformes, conocidos comúnmente como Bagres (Petrere et al., 2004; Fabré et al., 2000).

Colombia tiene un gran potencial para el desarrollo de la piscicultura, puesto que cuenta con una gran diversidad de especie ícticas (Do Nascimento et al., 2017) y disponibilidad de recursos hídricos que permiten el cultivo de diferentes especies acuáticas. Aunque muchas especies de silúridos tienen comercio en todo el territorio nacional, su mercado es basado en la explotación

natural por pesquerías, que en los últimos años ha reducido dramáticamente los volúmenes de captura.

En Colombia, la piscicultura está basada en la tilapia (*Oreochromis* sp), la trucha (*Oncorhynchus mykiss*) y la cachama (*Piaractus brachypomus*), el cual concentra el 96% de la producción nacional y solo la cachama corresponde a una especie nativa. Otras especies como el Bocachico (*Prochilodus magdalenae*) y el yamú (*Brycon amazonicus*) forman parte de las especies cultivadas con un aporte muy bajo en la producción nacional.

Aunque en Colombia ninguna especie nativa de silúridos es cultivada a escala comercial, su carne cuenta con una amplia aceptación en el mercado por su valor nutricional, exquisitez, su ausencia de espinas intramusculares y sus grandes tallas que en algunas ocasiones sobrepasan los 30 kilos. Algunas especies endémicas de silúridos han sido estudiadas en los últimos años, dentro de las cuales tenemos el pintadillo o rayado (*Pseudoplatystoma fasciatum* y *P. tigrinum*), el yaque (*Leiarius marmoratus*), el amarillo (*Zungaro zungaro*), la barbilla (*Rhamdia quelen*), el nicuro (*Pimelodus yuma*), el capaz (*Pimelodus grosskopfii*) y el blanquillo (*Sorubim cuspicaudus*) entre otros (Monterrosa et al., 2004; Murillo-Pacheco et al., 2012; Carrera & Valbuena-Villareal 2015); sin embargo, estas investigaciones solo han permitido conocer aspectos básicos sobre su reproducción inducida, presentando baches en aspectos tales como el desarrollo de paquetes tecnológicos que permitan integrar estas especies a sistemas de producción a escala comercial en nuestro país.

La situación de los silúridos a nivel mundial es diferente, ya que han entrado exitosamente a los sistemas de producción en los últimos años basados en especies de gran interés endémicos de cada región, logrando un mercado creciente y una industria afianzada como es el caso de Estados

Unidos con el bagre del canal *Ictalurus punctatus*, el sur de Asia con el *Pangasius pangasius*, en África el *Clarias gariepinus*, en Europa el *Silurus glanis* y en Suramérica, específicamente Brasil, recientemente con el *Pseudoplatystoma* spp., *Pimelodus albicans*, *Brachyplatystoma rousseauxii*, *Hypophthalmus fimbriatus*, *Zungaro zungaro*, entre otros (Kubitza et al., 2012; Gutiérrez-Espinosa et al., 2019). Dentro de las características principales que han permitido el desarrollo de esta gran industria son su fácil reproducción, fácil aceptación de alimento concentrado, rápido crecimiento, excelente conversión alimenticia y su tolerancia a altas densidades de cultivo asociados con alta producción comercial (Waldrop & Wilson, 1996).

La implementación de especies de silúridos nativos como una alternativa para la diversificación y ampliación de la oferta de especies cultivables, representa para el sector productivo en Colombia una nueva estrategia hacia la competitividad en mercados nacionales e internacionales. Además, la utilización de especies nativas en la producción masiva no representa riesgos aparentes en los sistemas naturales, que resultan muy susceptibles a cambios por introducción de especies exóticas que pueden alterar la cadena trófica por desplazamiento de nichos de las especies nativas (Copescal, 1986).

La presente revisión abordará la viabilidad de explotación comercial de especies de silúridos nativos a nivel regional, partiendo de paquetes tecnológicos estandarizados y experiencias basadas en especies de silúridos actualmente comercializados en Europa, Norte América y Suramérica sobre aspectos reproductivos en cautiverio y optimización de las condiciones de larvicultura, alevinaje, levante y engorde necesarias para obtener un buen desempeño en los sistemas de producción comercial.

Aspectos Morfológicos y Fisiológicos en Silúridos

Los silúridos son peces de piel desnuda (sin escamas) y simetría dorso-ventral, adaptados a los fondos de la mayoría de los ambientes acuáticos y variados nichos ecológicos, tanto en regiones tropicales como templadas (Das & Ratha 1996). En su morfología se destacan sus barbillas en el mentón denominadas “barbillones” que funcionan como un complejo quimio-sensorial, como pre adaptación a la vida en aguas turbias y nocturnas (Rodríguez et al., 1990; Bruton, 1996; Barbarino & Winemiller 2003). La mayor parte de organismos de este grupo presentan en sus aletas dorsales y pectorales espinas osificadas de carácter defensivo. Los silúridos en general presentan mecanismos fisiológicos adaptativos que les han permitido colonizar diferentes condiciones ambientales con un amplio rango de factores físicos-químicos cambiantes tales como el oxígeno, la temperatura y el amonio entre otras (Das & Ratha, 1996). La gran mayoría de estos organismos son grandes depredadores provistos de una gran boca que funciona como un aparato succionador gracias a su gran volumen buco-faríngeo, ausencia de dientes ensiformes remplazados por dientes premaxilares, mandibulares y faríngeos en forma de almohadilla para retener sus presas en la boca (Bruton, 1996) y luego succionar hacia el interior. Algunas de estas características representan ventajas para su adaptación a sistemas de cultivos, pero así mismo otras dificultan el manejo por el escaso conocimiento sobre su biología y ecología, especialmente durante la etapa de larvicultura. En la tabla 1 se presentan algunas características como los hábitos alimenticios en el medio natural.

Tabla 1. *Principales especies de silúridos de interés comercial y sus hábitos alimenticios en el medio natural*

	Nombre común	Cuenca	Habito alimenticio	Observaciones
<i>Leiarius marmoratus</i> *	Yaque	Amazonas	Omnívoro con tendencia carnívora (Cuenca del Amazonas)	Los peces, camarones y algunas semillas como los de mayor frecuencia
		Orinoco	Omnívoro estricto (Cuenca del Orinoco)	Es más relevante la presencia de semillas y frutos que la de componentes de origen animal
<i>Pimelodus grosskopfii</i> **	Capaz	Magdalena	Omnívora con tendencia carnívora	Con preferencia por los insectos y los macroinvertebrados
<i>Pseudoplatystoma magdaleniatum</i> ***	Bagre rayado	Magdalena	Carnívora	Principalmente peces, aunque se han reportado frutas y semillas
<i>Sorubim cuspicaudus</i> **	Blanquillo	Magdalena y Sinú	Carnívora con tendencia piscívora	Principalmente peces, crustáceos y restos vegetales

Nota: Elaboración propia con base en; * Acosta-Santos, Agudelo-Córdoba, Ajáico y Ramírez Gil (2011) ** Ramírez y Ajiaco (2011) Cala et al., 1996; Ramírez & Pinilla, (2012) Buitrago-Suárez (2006) **** Villadiego P. & Atencio V., 2003

Sin embargo, es importante conocer la morfología del sistema digestivo, la ecología de las especies, las características del hábitat, la nutrición, su fisiología digestiva, su reproducción entre otras. En los silúridos o “catfish” se ha observado una amplia diversidad trófica que van desde omnívoros hasta carnívoros o facultativas con tendencias a cambiar sus hábitos alimenticios según la disponibilidad de recursos y el hábitat. Si bien la morfología de tracto gastrointestinal por lo general muestra variaciones específicas relacionadas con la dieta, el hábito de alimentación y la forma del cuerpo, se ha observado para especies detritívoras y herbívoras intestinos más largos, más delgados y estrechos que los carnívoros (Fugi, Agostinho, & Hahn, 2001), mientras que una especie netamente carnívora presentan intestino más cortos y casi recto, aunque se han observado algunas adaptaciones como circunvoluciones de bucles extremos del

intestino medio que podrían ser vistos como adaptaciones potenciales hacia una omnívoria (Seixas Filho et al. 2001).

Tabla 2. *Morfología del sistema digestivo en relación al hábito alimenticio para tres especies de silúridos.*

Especie	Habito alimenticio	Intestino	Modificaciones	Coefficiente intestinal
<i>Rhamdia quelen</i> *	Omnívoro con tendencia carnívora	Corto y recto	Con segmento convoluto Presenta circunvoluciones de bucles extremos del intestino medio	0,65
<i>Pseudoplatystoma corruscans</i> **	Carnívoro	Corto y recto		0,45
<i>Leiarius marmoratus</i> **	Omnívoro	Intermedio	N.R	1,6

N.R.: No reportado

Nota: Elaboración propia con base en: * de Seixas Filho., et al (2001a), ** de Seixas Filho., et al (2001a) *** Ramírez y Ajiaco (2011)

Requerimientos Nutricionales

En los últimos años en Colombia se ha avanzado en el desarrollo de paquetes tecnológicos para el ingreso de especies de silúridos a la cadena productiva, sin embargo, es escaso el conocimiento sobre la biología y ecología, falta información básica que permita hacer inferencia sobre requerimientos nutricionales que permitan un óptimo desarrollo en la cadena productiva en relación con la formulación de dietas equilibradas económicamente y ambientalmente.

Dentro de los requerimientos nutricionales en una de las especies más estudiadas, han sido identificados para el bagre del canal (*Ictalurus punctatus*), necesarias para las funciones metabólicas normales cerca de 30 nutrientes que incluyen aminoácidos, ácidos grasos, minerales y vitaminas (Wilson & Moreau 1996), así mismo, las exigencias nutricionales son diferentes en todas las etapas del desarrollo desde larva, alevino hasta su posterior levante y engorde que aseguran un óptimo crecimiento.

Energía. Los niveles de energía digestible deben ser debidamente estudiadas para estas especies que van a ingresar a los sistemas productivos, esta relación proteína/energía debe ser balanceada para evitar bajos rendimientos de la especie, así, niveles por debajo a los requeridos utiliza la vía catabólica de las proteínas como energía en lugar de síntesis, conduciendo a procesos catabólicos de desaminación, mientras que un exceso de energía en la dieta resulta una disminución en la toma de nutrientes y un aumento en la deposición de grasa en el cuerpo de los peces (Wilson & Moreau, 1996; Kim & Lee, 2005; da Cunha, Cornélio, & Fracalossi, 2015), en otras palabras, se detiene la ingesta antes de que se consuma suficiente cantidad de proteína.

Para lograr una tasa de crecimiento óptimo en cada especie, es necesario determinar la proporción energía-proteína mediante evaluaciones experimentales, teniendo en cuenta además que las dietas evaluadas tengan energía y proteína de alta digestibilidad en niveles y proporciones adecuadas. En cuanto a requerimientos energéticos no han sido bien estudiados. En la tabla 3 se presenta los coeficientes de digestibilidad aparente según las diferentes fuentes de proteína para dos especies de silúridos suramericanos.

Tabla 3. Porcentaje (%) Coeficiente de digestibilidad aparente (CDA) de la fracción proteica y energía para dos especies de silúridos.

Especie	Fuente	(%) Coeficiente de digestibilidad de la fracción proteica	(%) Coeficiente de digestibilidad de la energía
<i>Pseudoplatystoma corruscans</i> *	Harina de pescado	84,14	72,8
	Torta de soya	67,1	61,66
	Maíz	64,18	57,39
	Harina de vísceras de aves	64,25	N.R.
	Harina de sangre	10,47	N.R.
	Harina de plumas	39,36	N.R.
<i>Pimelodus grosskopfii</i> **	Harina de pescado	94,5	96,5
	Harina de sangre	78,5	78,7
	Harina carne	59,6	61,1
	Harina de pescado	81,9 ± 5,3 ^a	N.R.

Especie	Fuente	(%) Coeficiente de digestibilidad de la fracción proteica	(%) Coeficiente de digestibilidad de la energía
<i>Pimelodus grosskopfii</i> ***	Harina de carne	81,3 ± 10,86 ^a	N.R.
	Soya cruda	97 ± 0,99 ^a	N.R.
	Torta de soya	86,9 ± 4,81 ^a	N.R.
	Harina de pescado + torta de soya	91,2 ± 4,97 ^a	N.R.
	Harina de carne + torta de soya	61,3 ± 17,96 ^b	N.R.

Nota: Elaboración propia con base en; *Gonçalves y Carneiro (2003) ** Valbuena-Villareal, Zapata-Berruecos y Gutiérrez-Espinosa (2012)*** Datos sin publicar

Proteína. Las proteínas son compuestos fundamentales que tienen como función el mantenimiento, crecimiento y remplazo de tejido dañado (Mambrini & Guillaume, 2001), formadas por unidades llamadas aminoácidos, además pueden proveer energía esencial para algunos órganos y tejidos críticos. Por tanto, el requerimiento y suministro de proteínas en los peces debe ser acorde en cantidades ideales, únicas para cada especie que logre maximizar su desempeño y por tanto es la primera prioridad en la formulación de la dieta. Aunque comúnmente los requerimientos proteicos se basan en la ganancia total peso, alimentados con dietas prácticas o semipurificadas (Gutiérrez-Espinosa et al., 2019), cada especie responde de manera diferente en cada etapa de desarrollo.

Los requerimientos óptimos de proteína en silúridos en forma general han sido estimados en un rango de 25 – 52% y depende de la temperatura del agua, disponibilidad de alimento en los estanques, densidad de siembra, ración de comida, cantidad de energía no proteica y finalmente de la calidad de la proteína en la dieta, así el manejo de niveles de proteína óptimos en las dietas mejora la producción especialmente en especies de hábitos carnívoros. En *Ictalurus punctatus* el manejo de los niveles de proteína son de acuerdo al tamaño; en organismos con pesos cercanos a 7 g los mejores rendimientos se obtuvieron con dietas que contenían niveles de proteína cercanos

al 36 % (Garling & Wilson, 1976), así organismos con pesos cercanos a 100 g son alimentados a saciedad con alimento concentrado con niveles de proteína iguales al 25% logrando un máximo de crecimiento y finalmente la ceba se recomienda el manejo de niveles de proteína del 29% alimentados al 3% del peso (Wilson & Moreau, 1996). En África el *Clarias gariepinus* que cuenta con un amplio rango de distribución, ha logrado ser explotado desde alevino a densidades de 2000 alevinos.m², alimentados cada cuatro horas con concentrado al 38% de proteína, obteniendo al final de la eclosión hasta el final del alevinaje sobrevivencia del 40%. Las larvas luego de recibir alimento vivo por cinco días llegan a tener un peso de 5 mg y son sembradas en densidades de 30-100 larvas.m²; al final de las seis semanas se obtienen alevinos de 3 -5 g. Luego de seis meses estos organismos son categorizados por tamaños y en ocho meses estos organismos alcanzan pesos de 700-800g.

Tabla 4. Nivel de proteína óptimo y la relación proteína/energía para algunas de las especies de silúridos sudamericanos.

Especie	Peso inicial (g)	Tiempo (días)	Nivel de proteína óptimo (%)	Relación proteína/Energía (kcal/g)
<i>Pseudoplatystoma reticulatum</i>	16-85	60	49,25	10,27
	0,3	60	41	4500
	0,78	30	38	3600
<i>Rhamdia quelen</i>	1,52	90	37	3200
	47,39	324	30	3250
	394-690	90	28	4000
<i>Leiarius marmoratus</i>	3,5	150	24	N.R.
	20,3	40	28, 32 y 36	N.R.
<i>Pimelodus grosskopfii</i>	1,7	60	35	N.R.
	37,6	180	25	N.R.

Nota: Elaboración propia con base en; *Cornélio et al., (2014) Melo, et al., (2006) Signor et al., (2004) **Meyer & Fracalossi, (2004) Reidel et al., (2010) Coldebella et al., (2011) Murillo-Pacheco et al. (2012) ***Murillo-Pacheco et al. (2012) Mora-Sánchez et al., (2009) ****Zapata & Vázquez (2017) Carrera & Valbuena-Villareal (2015)

Lípidos. Los lípidos comprenden grasas, aceites, fosfolípidos y ácidos grasos entre otros, que juegan un papel fundamental como fuente importante de energía metabólica en presencia de oxígeno, además intervienen en muchos procesos fisiológicos a nivel celular, como la permeabilidad a nivel de membranas celulares y nucleares, dentro del desarrollo de larvas y alevinos son sustancias precursoras de moléculas vitales en el metabolismo. Todas las especies de peces de agua dulce presentan diferencias en cuanto a la composición y concentración de ácidos grasos de acuerdo a su tipo de hábitos alimenticios y hábitat donde se desenvuelven, algunos de los más esenciales los obtienen de sus dietas alimenticias piscívoras (Legendre et al. 1995).

De esta manera los niveles de lípidos en la dieta al igual que la energía y la proteína deben estar en un rango óptimo para cada especie, luego niveles de lípidos por encima de los requisitos metabólicos, podría ser almacenado como grasa visceral y afectar la actividad de la lipasa, los niveles de colesterol y triglicéridos y causar disminución del crecimiento (Campeche et al., 2018).

Así la utilización de lípidos en las dietas entre el 10% y 19 % como fuente de carbohidratos mejora la tasa de crecimiento específica y la eficiencia en la utilización de proteína en alevinos de *Pseudobagrus fulvidraco*, silúrido de gran interés comercial en Asia (Kim & Lee, 2005). Para diferentes especies de *Pseudoplatystoma* spp. han reportado que el nivel óptimo esta entre 8 al 19% (Martino et al., 2002a; Martino, Cyrino, Portz & Trugo (2002b).

Por tanto, los ácidos grasos más eficientes en las dietas son los provenientes de origen animal y no los de origen vegetal, por su altos contenidos en ácido oleico y bajos en ácido grasos n-3 y n-6 HUFA, así la baja respuesta a los ácidos grasos de origen vegetal es debido a la baja capacidad metabólica del ácido linoleico (Kim & Lee, 2005)

Perspectivas a Escala Comercial

Experiencias en cultivos de silúridos en el Sur de Asia de especies como el *Pangasius pangasius*, *Clarias batrachus*, *Heteropneustes fossilis* (i.e) cuyos paquetes tecnológicos han sido desarrollados en la India, los sistemas de cultivos comprenden desde extensivos, semi-intensivos e intensivos tanto en monocultivos como en policultivos con grandes producciones anuales. El cultivo de silúridos debe asegurar una continua generación de alevinos viables superando inconvenientes tales como la estacionalidad reproductiva de estos organismos.

El cultivo de silúridos ha sido explotado a escala comercial en países como Estados Unidos donde se explota el *Ictalurus punctatus* desde los años de 1950-60, cuenta hoy en día con un amplio mercado, lo que ha generado una gran industria con un potencial de crecimiento en este país (Waldrop & Wilson, 1996), así el incentivo del consumo per cápita de silúridos es producto de intensos esfuerzos de publicidad, que han aumentado la demanda de manera creciente por su alta calidad de proteína. En Europa se explota el *Silurus glanis* y el *Silurus glanis* han sido liderados en tecnologías desarrolladas por países como República Checa, pasando de un modelo productivo extensivo a intensivo.

Conclusiones

Los silúridos forman un grupo de peces de agua dulce muy comunes en las principales cuencas colombianas cuya explotación es sustentada por la pesca artesanal. Sin embargo, el escaso conocimiento sobre la biología y ecología de estas especies ha dificultado la incorporación a la cadena productiva. Los estudios en silúridos son muy pocos a diferencia de especies como la tilapia, que tienen más años de trabajo, sin embargo, existen especies endémicas de silúridos que a mediano plazo pueden incorporarse a las cadenas productivas y lograr una diversificación de la piscicultura.

Se requieren realizar estudios específicos para las diferentes especies de interés comercial, cuyo fin busca diversificar la piscicultura nacional y explotar especies endémicas de cada una de las regiones colombianas.

Referencias Bibliográficas

- Acosta-Santos, A., Agudelo-Córdoba, E., Ajíaco, R., & Ramírez-Gil, H. 2011. *Leiarius marmoratus* (Gill, 1870). Ficha Amazonas. En C. Lasso, E. Agudelo-Córdoba, H. Ramírez-Gil, M. Morales-Betancourt, R. Ajiaco-Martínez, ... A. Sanabria-Ochoa (Eds.), Catálogo de recursos pesqueros continentales de Colombia (pp. 448-451). Bogotá, Colombia: Instituto de Investigaciones de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Appelbaum S., Mcgeer J. C. 1998. Effect of diet and light regime on growth and survival of African catfish (*Clarias gariepinus*) larvae and early juveniles. *Aquaculture Nutrition* 1998; 4: 157-164.
- Barbarino Duque A. & Winemiller K. O. 2003. Dietary segregation among large catfishes of the Apure and Arauca Rivers, Venezuela. *Journal of Fish Biology*; 63: 410-427.
- Buitrago-Suárez, U. A. 2006. Anatomía comparada y evolución de las especies de *Pseudoplatystoma* Bleeker 1862 (Siluriformes: Pimelodidae). *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* 30 (114): 117-141.
- Bruton M. N. 1996. Alternative life-history strategies of catfishes. *Aquat. Living Resour*: (9 Supl Hors série): 35-41.

- Cala P., Pérez C. & Rodríguez I. 1996. Aspectos bioecológicos de la población de capaz, *Pimelodus grosskopfii* (Pisces: Pimelodidae), en el embalse de Betania y parte alta del Río Magdalena, Colombia. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales Vol.20, No.77 319-330.
- Campeche, D. F. B., Andrade, D. H. de H., Souza, A. M., Melo, J. F. B., & Bezerra, R. de S. 2018. Dietary protein: lipid ratio changes growth, digestive enzyme activity, metabolic profile and haematological parameters in hybrid surubim (*Pseudoplatystoma fasciatum* × *Leiarius marmoratus*). Aquaculture Research, 49(7), 2486-2494.
- Carrera, S & Valbuena-Villareal R. D. 2015. Desempeño productivo del Capaz (*Pimelodus grosskopfii*, Steindachener, 1879) bajo diferentes densidades de siembra y contenido de proteína en la dieta. Revista Intropica Vol. 10: 20 – 27
- Coldebella, I. J., Neto, J. R., Mallmann, C. A., Veiverberg, C. A., Bergamin, G. T., Pedron, F. A., & Barcellos, L. J. G. 2011. The effects of different protein levels in the diet on reproductive indexes of *Rhamdia quelen* females. Aquaculture, 312(1-4), 137-144.
- Cornélio, F., da Cunha, D., Silveira, J., Alexandre, D., Silva, C., & Fracalossi, D. 2014. Dietary Protein Requirement of Juvenile Cachara Catfish, *Pseudoplatystoma reticulatum*. Journal of the World Aquaculture Society, 45(1), 45-53.
- Copescal (Comisión de Pesca Continental para América Latina). 1986. Introducción de especies ícticas y conservación de los recursos genéticos de América Latina. COPESCAL, Documento Ocasional, (3):12 pp.

- Das A. B., & B. K. Ratha. 1996. Physiological adaptive mechanisms of catfish (Siluroidei) to environmental changes. *Aquatic Living Resources*; 9 Supl Hors série, 135-143.
- Da Cunha, D. A., Cornélio, F. H. G., & Fracalossi, D. M. 2015. Exigência de energia em dietas para juvenis de cachara, *Pseudoplatystoma reticulatum*. *Boletim do Instituto de Pesca*, 41(3), 567-578.
- De Seixas Filho, J. T., de Moura Brás, J., Gomide, A. T. M., Oliveira, M. G. A., Donzele, J. L., & Menin, E. 2001b. Anatomia funcional e morfometria do intestino no Teleostei (Pisces) de água doce surubim (*Pseudoplatystoma coruscans* - Agassiz, 1829). *Revista Brasileira de Zootecnia*, 30(6), 1670-1680.
- De Seixas Filho, J. T., Fonseca, C. C., Oliveira, M. G., Donzale, J. E., & Menin, E. 2001a. Determinação do Sistema endócrino difuso nos intestinos de Três Teleostei (Pisces) de Água Doce com Hábitos Alimentares Diferentes. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 30(5), 1403-1408.
- Do Nascimento C., Herrera-Collazos E. E, Herrera-R. G.A., Ortega-Lara A, Villa-Navarro FA, Usma-Oviedo J. S & Maldonado-Ocampo J. A. 2017. Checklist of the freshwater fishes of Colombia: a Darwin Core alternative to the updating problem. *ZooKeys* 708: 25–138.
- Fabré N. N., Donato J. C. & Alonso J. C. 2000. *Bagres de la Amazonia Colombiana: Un Recurso Sin Fronteras*. Bogotá. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas Sinchi. Programa de Ecosistemas Acuáticos. 19-70.
- Fugi, R., Agostinho, A., & Hahn, N. S. 2001. Trophic morphology of five benthic feeding fish species of a tropical floodplain. *Revista Brasileira de Biologia*, 61(1), 27-33.

- Garling D. L., Wilson RP. 1976. Optimum dietary protein to energy ratio for channel catfish fingerlings, *Ictalurus punctatus*. *Journal Nutrition* 106, 1368-1375.
- Gonçalves, E. G., & Carneiro, D. J. 2003. Coeficientes de digestibilidade aparente da proteína e energia de alguns ingredientes utilizados em dietas para o pintado (*Pseudoplatystoma coruscans*). *Revista Brasileira de Zootecnia*, 32(4), 779-786.
- Gutiérrez-Espinosa, M. C., Velasco-Garzón, J. S., & León-Morales, C. A. 2019. Revisión: necesidades nutricionales de peces de la familia Pimelodidae en Sudamérica Teleostei: Siluriformes). *Revista de Biología Tropical*, 67(1), 146-163.
- Hecht T, Oellermann L, Verheust L. 1996. Perspectives on clariid catfish culture in Africa. *Aquat. Living Resour*; (9 Supl Hors série):197-206.
- Kim L. & Lee S.M. 2005. Effects of the dietary protein and lipid levels on growth and body composition of bagrid catfish, *Pseudobagrus fulvidraco*. *Aquaculture* 243:323-329.
- Kubitza F, Campos J. L., Ono E. A. & Istchuk P. I. 2012. Piscicultura no Brasil: Estatísticas, espécies, pólos de produção e fatores limitantes à expansão da atividade. *Panorama da Aquicultura*; 22(132):14-25
- Legendre M, Linhart O, & Billard R. 1996. Spawning and management of gametes, fertilized eggs and embryos in Siluroidei. *Aquatic Living Resources*; 9:59-80.
- Mambrini M. & Guillaume J. 2001. Protein nutrition. In: Guillaume JS, Kaushik P. Bergot R. (Editors). *Métailler. Nutrition and feeding on fish and crustaceans*. Springer and praxis publishing, Chichester UK, p. 408.

- Martino, R., Cyrino, J., Portz, L., & Trugo, L. 2002b. Performance and fatty acid composition of surubim (*Pseudoplatystoma coruscans*) fed diets with with animal and plant lipids. *Aquaculture*, 209, 233-246.
- Martino, R., Cyrino, J., Portz, L., & Trugo, L. 2002a. Effect of dietary lipid level on nutritional performance of surubim, *Pseudoplatystoma coruscans*. *Aquaculture*, 209, 209-218.
- Melo, J. F. B., Radünz-Neto, J., Silva, J. H. S., & Trombetta, C. G. 2002. Desenvolvimento e composição corporal de alevinos de jundiá (*Rhamdia quelem*), alimentados com dietas contendo diferentes fontes de lipídios. *Ciência Rural*, 32(2), 323-327.
- Meyer, G., & Fracalossi, D. M. 2004. Protein requirement of jundia fingerlings, *Rhamdia quelem*, at two dietary energy concentrations. *Aquaculture*, 240, 331-343.
- Monterrosa P, Villadiego E, Ortiz-Villafañe & Atencio García, V. J. 2004. Evaluación del régimen alimentario del bagre blanco *Sorubim cuspicaudus* en el bajo Sinú, Colombia. *MVZ-Córdoba* 2003; 8:(1), 275.
- Mora-Sánchez, J. A., Moyetones, F., & Jover, M. C. 2009. Influencia del contenido proteico en el crecimiento de alevines de bagre yaque, *Leiarius marmoratus*, alimentados con concentrados comerciales. *Zootecnia Tropical*, 27(2), 187-194
- Murillo-Pacheco, R., Cruz- Casallas, N. E., Ramírez- Merlano, J., Marciales-Caro, L. J., Medina-Robles, V. M., & Cruz-Casallas, P. E. 2012. Efecto del nivel de proteína sobre el crecimiento del yaque *Leiarius marmoratus* (Gill, 1870) bajo condiciones de cultivo. *Orinoquia*, 16(2), 52-61.

- Ramírez A. & Pinilla G. 2012. Hábitos alimentarios, morfometría y estados gonadales de cinco especies de peces en diferentes períodos climáticos en el río sogamoso (santander, colombia). *Acta Biológica Colombiana*, Vol. 17, Núm. 2 241-258.
- Ramírez, H., & Ajiaco, R. E. 2011. *Leiarius marmoratus* (Gill, 1870). Ficha Orinoco. En C. Lasso, E. Agudelo-Córdoba, H. Ramírez-Gil, M. Morales-Betancourt, R. Ajiaco-Martínez, F. Gutiérrez, A. Sanabria-Ochoa (Eds.), Catálogo de recursos pesqueros continentales de Colombia (pp.451-454). Colombia: Instituto de Investigaciones de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Rodríguez M. A., Richardson S. & Lewis WM. 1990. Nocturnal behavior and aspects of the ecology of a Driftwood Catfish, *Entomocorus gameroi* (Auchenipteridae). *Biotropica*; 22 Supl 4: 435-438.
- Reidel, A., Boscolo, W. R., Feiden, A., & Romagosa, E. 2010. The effect of diets with different levels of protein and energy on the process of final maturation of the gametes of *Rhamdia quelen* stocked in cages. *Aquaculture*, 298(3-4), 354-359.
- Signor, A., Signor, A. A., Feide, A., Boscolo, W. R., Reidel, A., & Hayashi, C. 2004. Exigencia de proteína bruta para alevinos de jundia *Rhamdia quelen*. *Varia Scientia*, 4(8), 79-89.
- Valbuena- Villareal R. D., Zapata-Berruecos B. & Gutiérrez-Espinosa M. C. 2012. Coeficientes de digestibilidad aparente de tres ingredientes proteicos para Capaz, *Pimelodus grosskopfii*. *Orinoquia suplemento vol 16 (2)* 179-186.
- Villadiego P. & Atencio V. 2003. Evaluación del régimen alimentario del bragre blanco *Sorobium cuspicaudus* en el bajo Sinú, Colombia. *MVZ-Córdoba* 8 :(1), 275.

Waldrop J. E. & Wilson R. P. 1996. Present status and perspectives of the culture of catfishes (Siluroidei) in North America. *Aquat. Living Resour* ; 9 Suple Hors série: 183-188.

Wilson R. P. & Moreau Y. 1996. Nutrient requirements of catfishes (Siluroidei). *Aquatic Living Resour*: 9 (Hors Série): 103-111.

Zapata, B. B., & W. Vázquez. 2017. Perfil y adaptaciones enzimáticas digestivas en capaz (*Pimelodus grosskopfii*), como repuesta a la composición de la dieta. Tesis de Maestría. Universidad de los Llanos, Instituto de Acuicultura de la Universidad de los Llanos.

Capítulo 2. Desempeño Productivo y Composición Corporal de Juveniles de Capaz *Pimelodus grosskopfii*, Alimentados con Diferentes Fuentes de Proteína.

Resumen

El capaz *Pimelodus grosskopfii*, es una especie omnívora promisoría para cultivo comercial que acepta alimento balanceado, pero se reconocen limitantes para implementar esquemas de cultivo intensivo. En la línea investigativa sobre la especie se identifican los referentes a la precisión sobre necesidades nutricionales básicas, utilización y digestión de nutrientes. En este contexto se evaluaron los efectos sobre el desempeño productivo en alevinos de capaz con peso y longitud promedio de 2.06 ± 0.1 g y 6.85 ± 0.1 cm, alimentados con seis dietas experimentales utilizando diferentes materias primas así: Dieta 1: HP (harina de pescado), Dieta 2: HC (harina de carne y huesos), Dieta 3: TS (torta de soya), Dieta 4: SC (soya cruda), Dieta 5: HP+TS (harina de pescado +torta de soya), Dieta 6: HC+TS (harina de carne + torta de soya). Las dietas fueron isoprotéicas (35% PB), e isoenergéticas manteniendo una relación P/E de 100 mg Kcal^{-1} . Fueron alimentados por 60 días hasta aparente saciedad con las respectivas dietas. En las dietas basadas en fuentes de origen vegetal (soya cruda (SC) y torta de soya (TS)) se observó la mayor sobrevivencia ($p < 0,01$). Para los parámetros de desempeño se observaron diferencias significativas ($p < 0,01$) entre los diferentes tratamientos, siendo la dieta harina de pescado (HP) y harina de carne + torta de soya (HP+TS) las de mayor ganancia de peso; por otra parte, se observó que la dieta soya cruda (SC) registró el menor rendimiento. Para la tasa específica de crecimiento (SGR) se observó diferencias significativas ($P < 0.001$), encontrándose un rango de variación entre las dietas evaluadas entre 2.59 (Dieta: Soya cruda) y 3.29 (Dieta: Harina de pescado). La eficiencia del alimento (EA) presentó diferencias significativas entre los tratamientos evaluados ($P = 0,034$), donde se observó que los tratamientos Dieta 3: soya cruda y

Dieta 4: Torta de soya presentaron los valores más bajos. Basados en el desempeño productivo de *P. grosskopfii*, se estima que dietas con contenidos de fuentes de origen vegetal como soya cruda y torta de soya no son eficientes para el crecimiento de la especie en fases iniciales, siendo la de origen animal y mezcla de animal y vegetal las más recomendadas para estas etapas de desarrollo.

Palabras clave: desempeño productivo, materias primas, nutrición, silúridos

Abstract

The capaz *Pimelodus grosskopfii* is an omnivorous species for commercial cultivation that accepts balanced food, but there are limitations to implement intensive farming schemes. In the research line about this species, those referring to the accuracy of basic nutritional needs, utilization and digestion of nutrients are identified. In this context, the effects on productive performance in alevinos of capaz with average weight and length of 2.06 ± 0.1 g and 6.85 ± 0.1 cm were evaluated, fed with six experimental diets using different raw materials as follows: Diet 1: HP (fish meal), Diet 2: HC (meat and bone meal), Diet 3: TS (soy cake), Diet 4: SC (raw soy), Diet 5: HP + TS (fish meal + soy cake), Diet 6: HC + TS (meat meal + soy cake). The diets were isoproteic (35% PB), and isoenergetic maintaining a P / E ratio of 100 mg Kcal^{-1} . They were fed for 60 days until apparent satiety with the respective diets. In diets based on plant sources (raw soybeans (SC) and soybean cake (TS) the highest survival was observed ($p < 0.01$). For the performance parameters, significant differences were observed ($p < 0.01$) between the different treatments, the diets being fish meal (HP) and meat meal + soy cake (HP + TS) the ones with greater weight gain; On the other hand it was observed that the raw soybean (SC) diet registered the lowest yield. For the specific growth rate (SGR) significant differences were observed (P

<0.001), where the range of variation between the evaluated diets was between 2.59 (Diet: Raw Soy) and 3.29 (Diet: Fishmeal). The efficiency of the feed (EA) showed significant differences between the evaluated treatments ($P = 0.034$), where it was observed that the treatments Diet 3: raw soy and Diet 4: Soybean cake presented the lowest values. Based on the productive performance of *P. grosskopfii*, it is estimated that diets with sources of plant sources such as raw soybeans and soybean cake are not efficient for the growth of the species in early stages, being of animal origin and animal mixture and plant the most recommended for these stages of development.

Key words: productive performance, source materials, nutrition, silurids.

Introducción

El capaz *Pimelodus grosskopfii* (familia Pimelodidae), se registra como especie nativa para la cuenca del Magdalena y las sub cuencas del Cauca y San Jorge (Jiménez-Segura y Villa-Navarro, 2011), según Galvis *et al.* (1997), también se reporta en el río Catatumbo; se considera una especie omnívora con tendencia carnívora (Cala *et al.*, 1996) por su flexibilidad alimenticia y capacidad para utilizar diferentes niveles tróficos la ubican como una candidata con potencial para la acuicultura, además de mostrar una buena aceptación por el alimento artificial, se ha avanzado en la formulación de protocolos para su reproducción en cautiverio (Valbuena-Villarreal *et al.*, 2010), con lo que se ha logrado la producción de semilla a pequeña escala. Aun así, los aspectos relacionados con la producción en cautiverio del capaz requieren de un mayor desarrollo y en este momento, la baja oferta de alevinos ha limitado las opciones de avances sustantivos. Parte de la baja disponibilidad de semilla se explica por problemas asociados al manejo nutricional de estos durante los primeros estadios de desarrollo; es claro que, para

cualquier especie, el obtener semilla de forma constante, en cantidad y calidad, depende a su vez de la disponibilidad de alimentos adecuados, que sean fácilmente consumidos, digeridos y utilizados para el crecimiento eficiente y elevada sobrevivencia (Giri *et al.*, 2002). Sobre este particular se tiene que las necesidades nutricionales de esta especie han sido poco investigadas, con trabajos que abordan parcialmente algunas etapas de desarrollo inicial (Velandia y Vergara, 1999; Bermúdez, 2005; Valbuena *et al.*, 2013).

La determinación de los requerimientos en proteína es una de las prioridades dentro de las posibilidades de diseño de dietas específicas; ha sido ampliamente estudiada en diferentes especies del grupo de los silúridos (Wilson y Moreau, 1996), particularmente en las familias Ictaluridae y Clariidae. Estos requerimientos o necesidades surgen principalmente de la respuesta en ganancia de peso de peces a los que se les suministran dietas prácticas y purificadas. Desde una perspectiva amplia y de forma aproximada se han determinado niveles óptimos de proteína bruta para el grupo que varían entre el 25 y el 50%, según la especie y sus hábitos (Liu *et al.*, 2011; Robinson *et al.*, 2004; Sá y Fracalossi, 2002; Robinson *et al.*, 2001, Giri, 2011). La información precisa sobre el requerimiento de proteína es crucial para cualquier iniciativa de cultivo, ya que representa un alto valor y normalmente debe incluirse en niveles elevados en la dieta para la mayoría de peces (NRC, 1993). El contenido de proteína en la dieta es primordial para el crecimiento, influyendo directamente en el desempeño de los organismos, además de que constituye el factor de mayor peso económico en los procesos de fabricación de los concentrados y, en consecuencia, en los costos de producción (Liu *et al.*, 2011; Giri, 2011; Lovell, 1989; NG *et al.*, 2001; Mambrini y Guillaume; 2001).

Desde esta perspectiva, el objetivo del presente fue evaluar el desempeño productivo de juveniles de capaz alimentados con diferentes fuentes de origen animal y vegetal.

Materiales y Métodos

Localización. El desarrollo del trabajo experimental se realizó en los laboratorios de la Estación Experimental Surcolombiana de Recursos Hidrobiológicos, ubicada dentro del predio “La Granja Experimental”, propiedad de la Universidad Surcolombiana, vereda San Miguel Palermo – Huila, situada a 461 m.s.n.m., a siete (7) Km de la ciudad de Neiva, dentro del área que cubre el distrito de adecuación de tierras de mediana escala Juncal. Esta zona presenta una temperatura ambiental promedio de 28.6°C y está ubicado geográficamente en los 2°53'10.5"LN 75°18'22.8"LO. La elaboración de las dietas y los análisis proximales se realizaron en el Laboratorio Experimental de Alimentación y Nutrición de Peces (LEANP), perteneciente al Instituto de Acuicultura de la Universidad de los Llanos (IALL), en la ciudad de Villavicencio (Meta)

Material biológico. Los alevinos fueron obtenidos por reproducción inducida de machos y hembras maduras de la especie, utilizando el protocolo propuesto por Valbuena-Villarreal et al. (2010). Una vez transcurrido el periodo de larvicultura, 1000 alevinos de capaz de 30 días post eclosión con 4 cm de longitud total aproximadamente, fueron mantenidos en tanques de 500 litros de capacidad, con recambio de agua y aireación constante durante un periodo de 30 días hasta que alcanzaron la talla proyectada para el inicio de los ensayos. Se alimentaron hasta aparente saciedad, dos veces al día, con concentrado comercial del 32 % de PB. Transcurrido este período fueron pesados individualmente y, con base en el análisis de la distribución de tallas, se estableció un rango de talla (6.0 – 7.0 cm de longitud total) y peso (1.5 a 2.5 g), que fue utilizado como criterio para seleccionar el lote experimental, buscando incrementar la homogeneidad inicial; del lote obtenido de la clasificación, un total de 240 individuos fueron

distribuidos aleatoriamente en 24 unidades de manejo (acuarios) en grupos de 10 ejemplares. A partir del día 1 fueron alimentados hasta aparente saciedad con cada una de las respectivas dietas experimentales (8 am, 4 pm), asegurando el consumo total del alimento suministrado.

Diariamente se calculó la cantidad de alimento ingerido en cada uno de los acuarios.

Unidades experimentales. Se utilizaron dos baterías de 12 acuarios de 40 L de capacidad cada uno cada una para un total de 24 unidades experimentales, ubicadas dentro de un sistema cerrado que opera con recirculación (flujo continuo de 2 L seg^{-1}), aireación constante, control de temperatura, esterilización con luz ultravioleta (UV), filtros biológicos y mecánicos. Los parámetros de calidad de agua de oxígeno disuelto (OD), temperatura, pH, conductividad y salinidad fueron monitoreados diariamente utilizando un equipo multiparamétrico HACH® HQ40d; el nitrógeno total (amonio, nitritos y nitratos), fue medido semanalmente con un fotómetro Spectroquant® NOVA 60.

Dietas experimentales. Se formularon y elaboraron 12 dietas experimentales (6 para las pruebas de crecimiento y 6 para la evaluación de la digestibilidad de nutrientes, estas últimas con adición del marcador inerte óxido de cromo - Cr_2O_3 al 0.5%. Las dietas fueron formuladas utilizando diferentes materias primas así: Dieta 1: HP (harina de pescado), Dieta 2: HC (harina de carne y huesos), Dieta 3: TS (torta de soya), Dieta 4: SC (soya cruda), Dieta 5: HP+TS (harina de pescado +torta de soya), Dieta 6: HC+TS (harina de carne + torta de soya). Las dietas fueron isoprotéicas (35% PB), e isoenergéticas manteniendo una relación P/E de 100 mg Kcal^{-1} (tabla 5). Para el balanceo de la proteína además de las materias primas, se utilizó caseína, dextrina y aceites para los niveles de energía. En el proceso de elaboración, cada ingrediente fue pesado (aproximación a 1 g), posteriormente mezclados y humedecidos (25%); la mezcla fue procesada en una micro-extrusora (Exteec®, Riberão Preto-Brasil). La extrusión se llevó a cabo entre 130 y

150°C, bajo una presión entre 30 y 60 atmósferas. De este proceso se obtuvieron *pellets* compactos y flotantes de 2 mm de diámetro. Posteriormente las dietas fueron secadas en horno a 60°C por 6 horas y almacenadas en refrigeración (4 °C) hasta su uso.

Tabla 5. *Formulación de dietas semipurificadas para la alimentación de alevinos de capaz Pimelodus grosskopfii, bajo condiciones de laboratorio.*

Ingrediente (g kg ⁻¹ dieta)	Dietas					
	HP	HC	TS	SC	HP+TS	HC+TS
Harina de pescado	250	0	0	0	140	0
Harina de carne y huesos	0	260	0	0	0	140
Torta de soya	0	0	273	0	140	140
Soya cruda	0	0	0	380	0	0
Caseína ¹	209	248	220	219	203	227
Dextrina	395	392	394	305	390	389
Aceite de pescado	30	30	30	30	30	30
Aceite de vegetal	30	30	30	30	30	30
Alfa celulosa	64	18	31	14	45	22
Otros ingredientes ²	22	22	22	22	22	22
Proteína bruta %	35	35	35	35	35	35
ED (Kcal g ⁻¹ MS)	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5

Nota: Elaboración propia. ¹Otros ingredientes (g kg⁻¹ dieta): *Premezcla Rovimix tilapias* ® Lab. DSM Nutritional Products Colombia 3.0 (Vit A 7.5*10⁵ KUI, Vit D3 3.7*10⁵ KUI, Vit E 10.8*10³ mg, Vit K3 1.66*10³ mg Vit B1 1.83*10³ mg, Vit B2 2.9 *10³, Vit B6 1.8*10³ mg, Vit B12 3.3 mg, Ac. Ascórbico 4.1*10⁴ mg, Niacina 7.5*10³ mg, Acido pantotenico 8.3*10³ mg, AcidoFólico 1.6*10⁵mg, Biotina 2.5*10³ mg, Cobre 2.8*10⁴ mg, Hierro 2.5*10³ mg, Manganeso 0.167 mg, Yodo 2.1 *10⁴ mg, Zinc 6.6 *10⁴, Selenio 9.1 *10⁴ mg, Magnesio 9.1*10⁴ mg, Inositol F.G 5.8 *10⁴ mg, Luctanox E 25 g, veículoc.b.p 1.0 kg. *Rovimix STAY-C 35* ® Lab. DSM Nutritional Products Colombia 1.0 (I- Acido Ascorbico 2- monofosfato 34.2 %). *Premezcla de macrominerales 40* (Composición por 100 g de mezcla: Ca (H₂PO₄) 13.6 g; Lactato de Ca 34.85 g; 2MgSO₄.7 H₂O 13.2 g; KH₂PO₄ 24 g; NaCl 4.5 g; AlCl₃ 0.015 g, CMC 9.835 g)

Análisis bromatológicos. Para efectos de análisis proximales, muestras de los ingredientes, dietas y, en los peces, carcasa inicial y final, fueron secadas utilizando un liofilizador (Modelo Alpha 1- 2 LD Plus) y almacenadas en recipientes plásticos hasta la realización de las mediciones, en las que se siguieron las metodologías patrón descritas por la Association of Official Agricultural Chemists (AOAC, 2005), que incluyen realizar cada análisis por triplicado.

Para el análisis de materia seca en las muestras de ingredientes, dietas experimentales y carcasa se utilizó un horno (Memmert) a una temperatura de 105 °C durante 12 horas. Las cenizas se determinaron por incineración en mufla (550 °C por 6 horas) y el contenido de lípidos por extracción con éter de petróleo a una temperatura de 40-60 ° C por un período de 3 horas (sistema de extracción semiautomático – Soxtec TM 2043). La determinación de proteína bruta por el método Kjeldahl y la energía bruta con bomba calorimétrica PARR (121EA, USA).

Pruebas de crecimiento y desempeño. La evaluación del desempeño de juveniles de capaz alimentados con las respectivas dietas formuladas tuvo una duración de 60 días. Al inicio del experimento se tomó una muestra de 30 animales (tres réplicas de 10 individuos cada una), y, finalizado el período experimental, 5 peces de cada tratamiento, los cuales fueron sacrificados por sobredosis de triclaína metanosulfonato (MS-222, 100 ppm), seguidamente se realizó un corte ventral, desde la altura del opérculo hasta el orificio anal, para extraer el tracto gastrointestinal, se reportó de cada uno el peso del hígado, vísceras y de la grasa para la determinación de índices corporales. Seguidamente el pez entero fue molido y almacenado a 4°C para posterior análisis de composición corporal. A continuación, se relacionan los parámetros de desempeño evaluados y su forma de determinación:

- *Peso inicial (g)*
- *Peso final (g)*
- *Porcentaje de ganancia de peso*

$$\%GP = 100 * (Pf - Pi)/Pi$$

Dónde:

Pi = Peso inicial

Pf = Peso final

- *Consumo de materia seca (g MS pez día⁻¹)*

$$CA = \frac{\text{Consumo total MS (g) por pez} * \% \text{ de MS de dieta}}{\text{Días del experimento}}$$

- Factor de conversión alimenticia (FCR)

$$FCR = \frac{\text{Consumo total MS (g)}}{\text{Ganancia de peso}}$$

- Eficiencia del alimento

$$EA = \frac{\text{Ganancia de peso}}{\text{Consumo total MS (g)}}$$

- Tasa específica de crecimiento (TCE)

$$TCE = 100 \times \frac{\text{Ln}(Pf) - \text{Ln}(Pi)}{\text{Tiempo (días)}}$$

Dónde:

Ln = Logaritmo natural

Pf = Peso final

Pi = Peso inicial

- *Sobrevivencia (%)*

$$\%S = \frac{\# \text{ animales finales}}{\# \text{ animales iniciales}} \times 100$$

PB = Porcentaje de proteína bruta de la dieta.

- *Índice viscerosomático (IVS)*

$$IVS = 100 \times \frac{\text{Peso vísceras}}{\text{Peso corporal}}$$

- *Índice hepatosomático (IHS)*

$$IHS = 100 \times \frac{\text{Peso hígado}}{\text{Peso corporal}}$$

- *Índice de grasa visceral (IGV)*

$$IGV = 100 \times \frac{\text{Peso grasa}}{\text{Peso corporal}}$$

Análisis estadístico. Los datos fueron procesados y descritos como media \pm desviación estándar. En el análisis de los efectos de los tratamientos se aplicó análisis de varianza (ANOVA) de una vía; verificando previamente los supuestos de normalidad (prueba de Kolmogorov-Smirnov) y homogeneidad de varianzas (test de Bartlett). Se utilizó la prueba de Duncan para comparar las medias entre los diferentes tratamientos, como prueba a posteriori luego de establecer diferencias significativas entre las variables evaluadas. En todas las pruebas se estableció $\alpha = 0.05$. Los análisis estadísticos y procesamiento de datos fueron realizados con el software R versión 3.5.3 (R Core Team, 2019).

Resultados

Parámetros calidad del agua. Durante el período experimental las medias de los parámetros de calidad de agua se mantuvieron dentro de los rangos considerados como adecuados para el cultivo de especies de clima cálido. Se determinaron temperatura (29.6 ± 1.5 °C), oxígeno disuelto (7.2 ± 0.4 mg L⁻¹), pH (8.1 ± 0.2), la concentración de amonio y nitritos siempre fue inferior a 0.02 mg L⁻¹, la conductividad (552 ± 222 μ s cm⁻¹) y salinidad (0.4 ± 0.3 ‰).

Sobrevivencia. En la figura 1 se presenta la sobrevivencia de los juveniles de capaz al final del ensayo (60 días), donde se observaron diferencias significativas entre los tratamientos ($p < 0.01$), siendo los tratamientos soya cruda (SC) y torta de soya (TS) lo de mayor sobrevivencia.

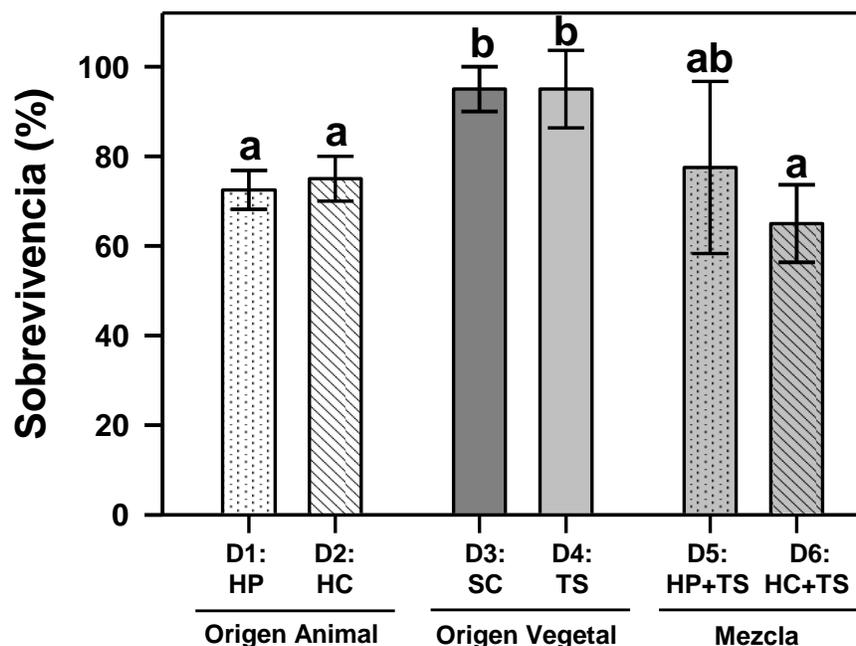


Figura 1. Sobrevivencia al final del ensayo en juveniles de capaz (*Pimelodus grosskopfii*) para las diferentes dietas evaluadas. HP (Harina pescado), HC (Harina de carne), SC (Soya cruda), HP+TS (Harina pescado+torta de soya) y HC+TS (Harina de carne+torta de soya). Valores con letras distintas son significativamente diferentes según el test de Duncan ($p < 0.05$). Valores mostrados como media \pm SD.

Parámetros de desempeño. En la Tabla 6 se presentan los valores iniciales y finales del peso y la talla de los juveniles de capaz en el ensayo (60 días post) para cada uno de los tratamientos evaluados. La selección inicial de los individuos que fueron asignados al azar a cada uno de los grupos experimentales tenían en promedio en peso de $2,06 \pm 0,1$ g y en longitud $6,85 \pm 0,1$ g. Al realizar la comparación mediante ANOVA no presentaron diferencias significativas en ninguna de las dos variables, demostrando la eficacia de la clasificación.

Tabla 6 .Promedio \pm DS de los registros iniciales y finales del peso (g) y longitud total (cm) para los juveniles de capaz para cada uno de los tratamientos. HP (Harina pescado), HC (Harina de carne), SC (Soya cruda), HP+TS (Harina pescado+torta de soya) y HC+TS (Harina de carne+torta de soya).

Tratamiento	Peso (g)		Longitud total (cm)	
	inicial	final	inicial	final
Dieta 1: HP	$1,99 \pm 0,03$	$14,31 \pm 1,64^a$	$6,78 \pm 0,04$	$12,62 \pm 0,39^{ab}$
Dieta 2: HC	$1,99 \pm 0,11$	$10,75 \pm 1,03^{bc}$	$6,78 \pm 0,14$	$11,69 \pm 0,46^{bc}$
Dieta 3: SC	$2,01 \pm 0,03$	$9,53 \pm 0,49^c$	$6,83 \pm 0,05$	$10,53 \pm 0,12^d$
Dieta 4: TS	$2,12 \pm 0,15$	$10,45 \pm 0,92^{bc}$	$6,95 \pm 0,13$	$11,07 \pm 0,34^{cd}$
Dieta 5: HP+TS	$2,05 \pm 0,14$	$13,14 \pm 1,63^{ab}$	$6,84 \pm 0,17$	$12,25 \pm 0,76^{ab}$
Dieta 6: HC+TS	$2,26 \pm 0,06$	$14,82 \pm 0,43^a$	$6,98 \pm 0,07$	$12,87 \pm 0,1^a$
<i>Anova de 1-factor</i>				
Factor: Dieta		$p < 0,001^{**}$	$p = 0,07$	$p < 0,001^{**}$

Nota: Elaboración propia.

En forma general, en todos los tratamientos se observó un aumento significativo en las variables ganancia de peso; el análisis estadístico mostró diferencias significativas ($p < 0,01$) entre las dietas evaluadas, siendo la dietas harina de pescado (HP) y harina de carne + torta de soya (HP+TS) las de mayor ganancia de peso; por otra parte se observó que la dieta soya cruda (SC) registró el menor rendimiento (figura 2a.). En cuanto a la variable ganancia de talla se observó diferencias significativas entras las dietas evaluadas ($p < 0,001$), siendo los tratamientos harina de

pescado (HP), harina de pescado + torta de soya (HP+TS) y harina de carne + torta de soya (HC+TS) los de mayor rendimiento y el tratamiento soya cruda (SC) el de menor rendimiento (Figura 2 b).

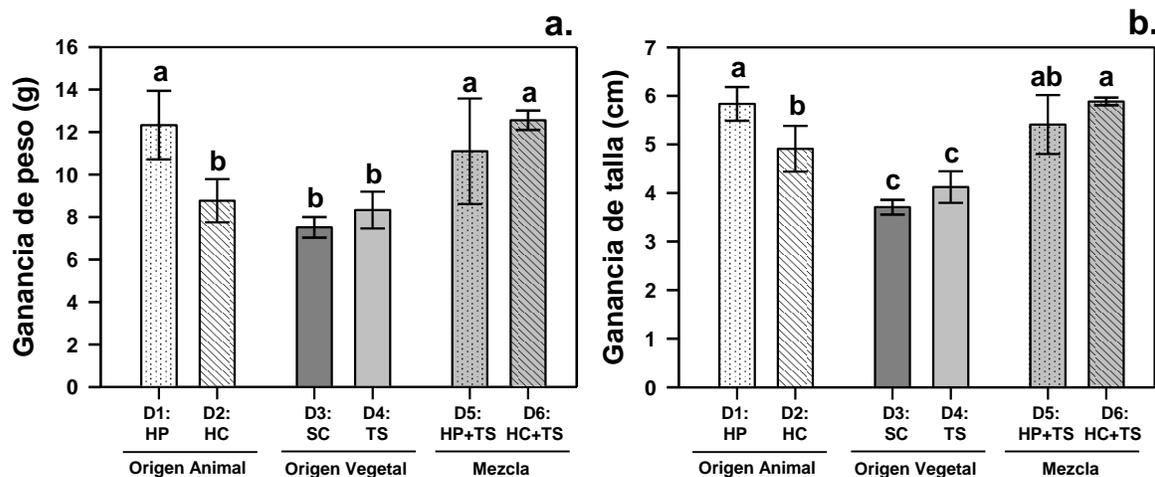


Figura 2. Ganancia de talla y peso acumuladas al final del ensayo en juveniles de capaz (*Pimelodus grosskopfii*) para las diferentes dietas evaluadas. HP (Harina de pescado), HC (Harina de carne), SC (Soya cruda), HP+TS (Harina pescado+torta de soya) y HC+TS (Harina de carne+torta de soya). Valores con letras distintas son significativamente diferentes ($p < 0.05$). Valores mostrados como media \pm SD.

La tabla 7 presenta los promedios de los indicadores productivos al final del ensayo para las seis dietas evaluadas. Para la tasa específica de crecimiento (SGR) se observó diferencias significativas ($P < 0.001$), donde el rango de variación entre las dietas evaluadas estuvo entre 2.59 (Dieta: Soya cruda) y 3.29 (Dieta: Harina de pescado) (Figura 3.).

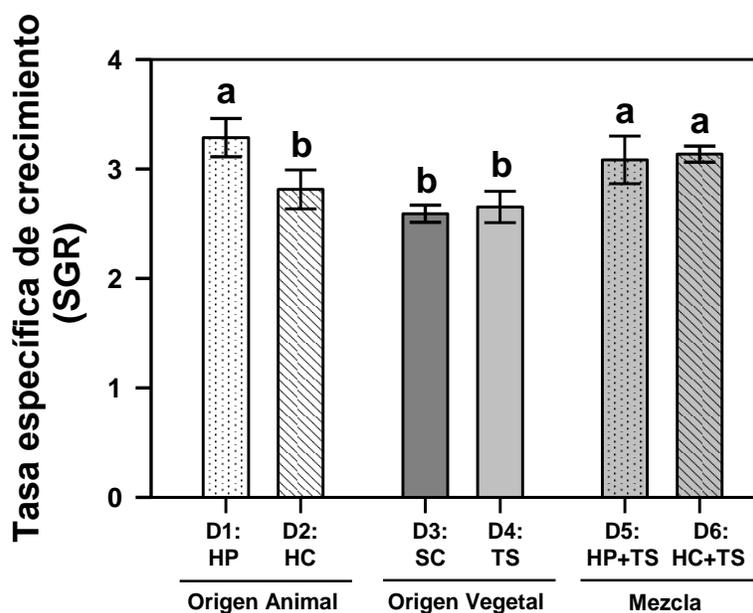


Figura 3. Tasa específica de crecimiento (SGR) al final del ensayo en juveniles de capaz (*Pimelodus grosskopfii*) para las diferentes dietas evaluadas. HP (Harina pescado), HC (Harina de carne), SC (Soya cruda), HP+TS (Harina pescado+torta de soya) y HC+TS (Harina de carne+torta de soya). Valores con letras distintas son significativamente diferentes ($p < 0.05$). Valores mostrados como media \pm SD.

El consumo de alimento fue estimado como la cantidad total (g) de materia seca (MS) que en promedio fue consumida por cada individuo durante el período experimental; a partir de estos datos se derivó información complementaria referida al consumo diario individual y el consumo que correspondería a una biomasa de 1 kg.

Para el consumo total de materia seca, se observaron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados ($P=0,003$), donde el tratamiento Dieta 1: Harina de pescado y Dieta 6: Harina de carne + torta de soya, presentaron los valores más altos, mientras que el tratamiento Dieta 3: Soya Cruda se observó el valor más bajo (Figura 4. a). Al igual, el parámetro productivo consumo de materia seca pez/día presentó un comportamiento similar al consumo total de materia seca (Figura 4. b). Por otra parte, el consumo de materia seca/kg/día no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados.

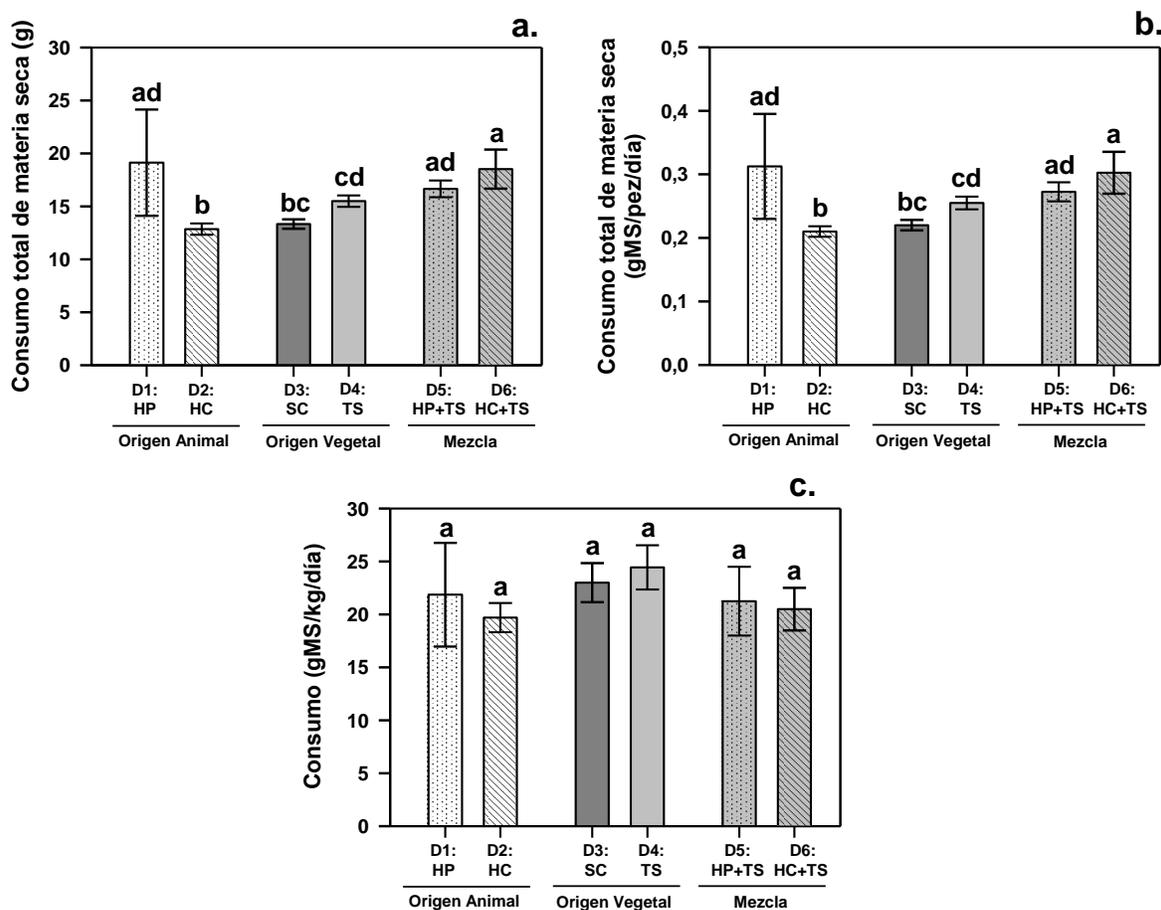


Figura 4. Consumo total de materia seca (a.), Consumo total de materia seca (gMS/pez/día) (b.) y consumo (gMS/kg/día) (c.) del ensayo en juveniles de capaz (*Pimelodus grosskopfii*) para las diferentes dietas evaluadas. HP (Harina pescado), HC (Harina de carne), SC (Soya cruda), HP+TS (Harina pescado+ torta de soya) y HC+TS (Harina de carne+ torta de soya). Valores con letras distintas son significativamente diferentes ($p < 0.05$). Valores mostrados como media \pm SD.

Para el factor de condición corporal (K) inicial no se observaron diferencias significativas al inicio del experimento, lo que apoya la eficiencia de la selección inicial y la homogeneidad de los peces experimentales en lo que se refiere a su mantenimiento previo. Por otra parte, el factor de condición final (K) se observaron diferencias significativas entre los tratamientos, siendo los tratamientos Dieta 3: soya cruda y Dieta 4: Torta de soya los que registraron los valores más altos, mientras que el tratamiento Dieta 2: harina de carne se observó el factor de condición más bajo (Figura 5.).

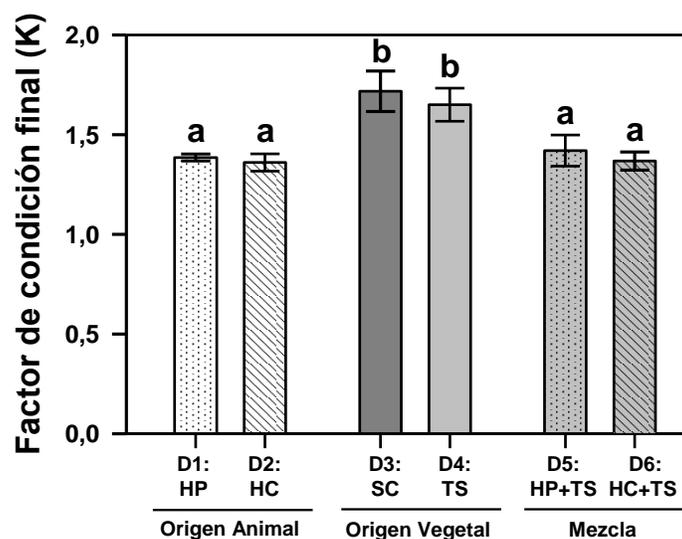


Figura 5. Factor de condición final (K) del ensayo en juveniles de capaz (*Pimelodus grosskopfii*) para las diferentes dietas evaluadas. HP (Harina pescado), HC (Harina de carne), SC (Soya cruda), HP+TS (Harina pescado+ torta de soya) y HC+TS (Harina de carne+ torta de soya). Valores con letras distintas son significativamente diferentes ($p < 0.05$). Valores mostrados como media \pm SD.

Con respecto al factor de conversión alimenticia (FCA) no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos ($P=0,066$), lo que significa que el contenido de proteína en las dietas evaluadas y la relación proteína/energía respondieron de manera uniforme en la conversión alimenticia.

La eficiencia del alimento (EA) presentó diferencias significativas entre los tratamientos evaluados ($P=0,034$), donde se observó que los tratamientos Dieta 3: soya cruda y Dieta 4: Torta de soya presentaron los valores más bajos (Figura 6.).

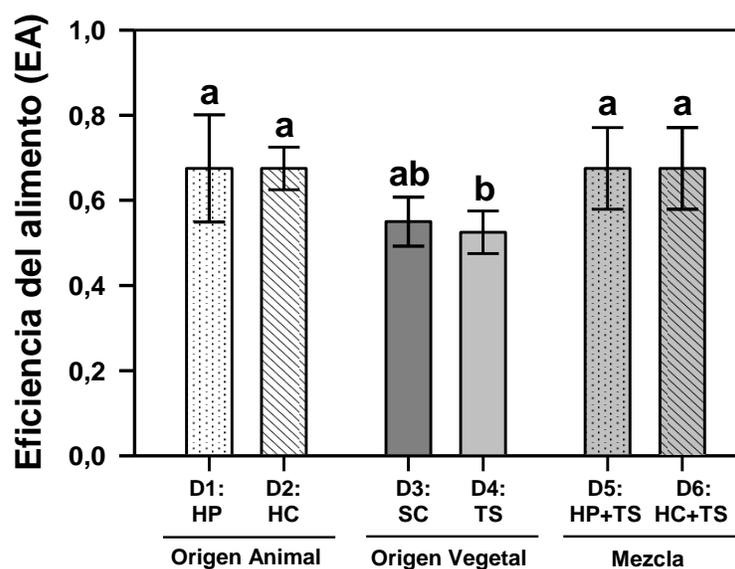


Figura 6. Eficiencia del alimento (EA) al final del ensayo en juveniles de capaz (*Pimelodus grosskopfii*) para las diferentes dietas evaluadas. HP (Harina pescado), HC (Harina de carne), SC (Soya cruda), HP+TS (Harina pescado+ torta de soya) y HC+TS (Harina de carne+ torta de soya). Valores con letras distintas son significativamente diferentes ($p < 0.05$). Valores mostrados como media \pm SD.

Tabla 7. Valores medios y resultados de las comparaciones entre los parámetros evaluados al final del ensayo sobre los juveniles de capaz para cada uno de los 6 tratamientos experimentales. Los datos se expresan como media \pm desviación estándar (DE).

Dieta	SGR (tasa específica de crecimiento)	Consumo total de materia seca(g)	Consumo (gMS/Kg/día)	consumo de materia seca (gMS/pez/día)	K (factor de condición inicial)	K (factor de condición final)	factor de conversión alimenticia (FCR)	Eficiencia del alimento (EA)
Dieta 1: HP	3,29 \pm 0,17 ^a	19,13 \pm 5,02 ^{ad}	21,86 \pm 4,89 ^a	0,28 \pm 0,04 ^{ad}	1,28 \pm 0,02 ^a	1,39 \pm 0,02 ^a	1,53 \pm 0,34 ^a	0,68 \pm 0,13 ^a
Dieta 2: HC	2,81 \pm 0,18 ^b	12,85 \pm 0,53 ^b	19,69 \pm 1,38 ^a	0,21 \pm 0,01 ^b	1,26 \pm 0,04 ^a	1,36 \pm 0,04 ^a	1,48 \pm 0,11 ^a	0,68 \pm 0,05 ^a
Dieta 3: SC	2,59 \pm 0,08 ^b	13,33 \pm 0,45 ^{bc}	23,01 \pm 1,84 ^a	0,22 \pm 0,01 ^{bc}	1,27 \pm 0,04 ^a	1,72 \pm 0,1 ^b	1,81 \pm 0,14 ^a	0,55 \pm 0,06 ^{ab}
Dieta 4: TS	2,65 \pm 0,14 ^b	15,49 \pm 0,54 ^{cd}	24,44 \pm 2,09 ^a	0,26 \pm 0,01 ^{cd}	1,27 \pm 0,02 ^a	1,65 \pm 0,08 ^b	1,85 \pm 0,17 ^a	0,53 \pm 0,05 ^b
Dieta 5: HP+TS	3,08 \pm 0,22 ^a	16,65 \pm 0,79 ^{ad}	21,24 \pm 3,25 ^a	0,27 \pm 0,02 ^{ad}	1,29 \pm 0,04 ^a	1,42 \pm 0,08 ^a	1,55 \pm 0,26 ^a	0,68 \pm 0,1 ^a
Dieta 6: HC+TS	3,14 \pm 0,07 ^a	18,52 \pm 1,85 ^a	20,51 \pm 2,01 ^a	0,3 \pm 0,03 ^a	1,26 \pm 0,05 ^a	1,37 \pm 0,05 ^a	1,48 \pm 0,15 ^a	0,68 \pm 0,1 ^a
Anova 1 factor								
Dieta	P<0.001**	P=0,003**	P=0,246	P=0,004**	P=0,877	P<0.001**	P=0,066	P=0,034*

Nota: Elaboración propia. a, b, c Letras distintas entre las filas presentan diferencias significativas según el test a posteriori de Duncan (p<0.05).

Índices corporales. La determinación de índices corporales incluyó el hepatosomático (IHS), el viscerosomático (IVS) y de grasa visceral (IGV), los cuales se calcularon sobre una muestra de 30 individuos del lote inicial y sobre ejemplares de cada tratamiento (5 individuos por replica), en el día 60 del seguimiento.

La Tabla 8 presenta el cálculo de los índices hepatosomático (IHS), viscerosomático (IVS) e Índice de grasa visceral (IGV) obtenidos al final del ensayo, donde se observaron diferencias significativas entre las medidas iniciales y las finales para cada uno de los tratamientos.

Tabla 8. Promedio \pm SD de los Índices corporales evaluados al inicio del ensayo y a los 60 días en juveniles de capaz (*Pimelodus grosskopfii*) para las diferentes dietas evaluadas. HP (Harina pescado), HC (Harina de carne), SC (Soya cruda), HP+TS (Harina pescado+ torta de soya) y HC+TS (Harina de carne+ torta de soya). Índice hepatosomático (IHS), Índice viscerosomático (IVS) e Índice de grasa visceral (IGV).

Tratamiento	IHS	IVS	IGV
Inicial	1,88 \pm 0,22 ^a	3,4 \pm 0,15 ^a	0,68 \pm 0,29 ^a
Dieta 1: HP	0,97 \pm 0,06 ^b	1,71 \pm 0,03 ^{bc}	3,26 \pm 0,61 ^b
Dieta 2: HC	1,01 \pm 0,06 ^b	1,92 \pm 0,2 ^c	2,75 \pm 0,79 ^b
Dieta 3: SC	0,83 \pm 0,08 ^b	1,83 \pm 0,12 ^{bc}	3,68 \pm 0,46 ^b
Dieta 4: TS	0,97 \pm 0,23 ^b	1,73 \pm 0,25 ^{bc}	3,18 \pm 0,69 ^b
Dieta 5: HP+TS	0,91 \pm 0,06 ^b	1,61 \pm 0,04 ^{bc}	3,1 \pm 0,58 ^b
Dieta 6: HC+TS	1,02 \pm 0,15 ^b	1,56 \pm 0,1 ^b	2,92 \pm 0,51 ^b
Anova de 1-factor			
Factor: Dieta	P<0,001**	P<0,001**	P<0,001**

Nota: Elaboración propia. a,b,c Letras diferentes entre las columnas indican diferencias significativas según el test de Duncan (P<0,05)

Al comparar los índices hepatosomático (IHS) y grasa visceral (IGV) entre los tratamientos evaluados (dietas) al final del ensayo, no se observaron diferencias significativas según el test de Duncan ($p < 0,05$). Sin embargo, el índice viscerosomático (IVS) sí presentó diferencias significativas entre los tratamientos al final del ensayo, donde se observó para el tratamiento harina de carne (HC) el valor más alto del índice viscerosomático (IVS) (Figura 7.). Como se observó la composición de las dietas evaluadas no influyó significativamente en la cantidad de grasa visceral, ni en el tamaño del hígado.

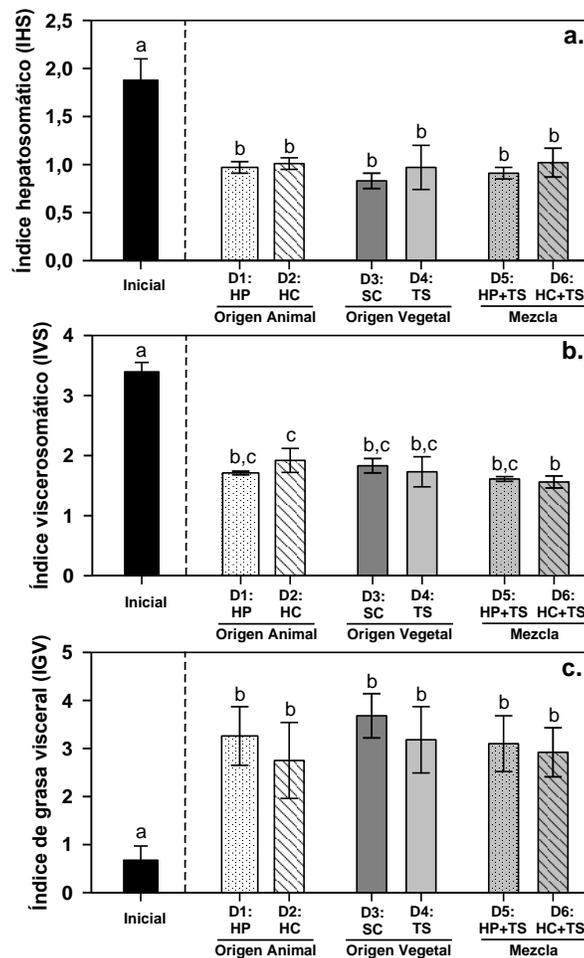


Figura 7. Promedio \pm SD de los Índices corporales evaluados al inicio del ensayo y a los 60 días en juveniles de capaz (*Pimelodus grosskopfii*) para las diferentes dietas evaluadas. HP (Harina pescado), HC (Harina de carne), SC (Soya cruda), HP+TS (Harina pescado+ torta de soya) y HC+TS (Harina de carne+ torta de soya). Índice hepatosomático (IHS), Índice viscerosomático (IVS) e Índice de grasa visceral (IGV). Letras diferentes (a, b, c) entre las columnas indican diferencias significativas según el test de Duncan ($P < 0,05$).

Discusión

El capaz *Pimelodus grosskopfii* (familia Pimelodidae) se considera una especie omnívora con tendencia carnívora, cuya dieta se basa principalmente en el consumo con preferencia por los insectos y los macroinvertebrados (Cala *et al.*, 1996; Ramírez & Pinilla, 2012), que por su flexibilidad alimenticia y capacidad para utilizar diferentes niveles tróficos la ubican como una opción eficiente para la acuicultura, además de mostrar una buena aceptación por el alimento artificial, sin embargo remplazar las fuentes de proteínas de origen animal por fuentes de origen vegetal pueden afectar los parámetros productivos por problemas de palatabilidad, digestibilidad, balance de aminoácidos y por la presencia de sustancias antinutricionales (Ma *et al.*, 2019; NRC, 2011; Francis *et al.*, 2001).

Los resultados obtenidos sugieren que las dietas compuestas por proteína de origen animal (harina de pescado) y las mezclas de proteína vegetal (soya) / animal (harina de pescado y harina de carne) mostraron los valores más altos de ganancia peso y talla, sin embargo en las dietas compuestas por solo origen vegetal (soya cruda y torta de soya) se observaron los valores más bajos en la ganancia de peso y longitud, lo que nos permite inferir que remplazar una parte de la proteína animal por vegetal (mezcla parcial) presenta un buen desempeño en las variables productivas. Sin embargo, en ensayos realizados en alevinos de *Clarias batrachus*, donde se realizó una sustitución parcial de proteína animal con proteína vegetal (harina de soya) con proporciones de glucosamina, concluyeron que la mezcla de proteína animal y vegetal afectan el desempeño productivo y reduce la digestibilidad que no fue compensado con una mayor ingesta (Chowdhary *et al.*, 2012). El trabajo realizado por Ma *et al.*, (2019) con la Lubina asiática (*Lates calcarifer*), encontraron que al aumentar el porcentaje de soya en la dieta del 30% al 40 y 50% el

desempeño productivo como la ganancia de peso disminuyo significativamente, debido a una disminución en la ingesta.

Según los resultados encontrados por Valbuena- Villareal et al., (2012) muestran que el capaz puede digerir la proteína y la energía de ingredientes de origen animal de manera diferenciada y eficiente según el recurso alimenticio, en este estudio los autores midieron los coeficientes de digestibilidad aparente donde fue mayor para la harina de pescado con respecto a la harina de carne. De esta manera la harina de pescado es el principal ingrediente proteico utilizado en la fabricación de raciones para peces, debido a su buen balance de aminoácidos y su alta palatabilidad (Fasakina et al., 2005). Sin embargo, la proteína cumple un papel más importante en estado larval (Valbuena-Villareal et al., 2013) que en la etapa de alevinaje (Carrera & Valbuena-Villareal, 2015).

El desafío desde la perspectiva tecnológica es balancear el valor nutritivo, el costo, disponibilidad y facilidad de procesado de las materias primas. Con el rápido crecimiento y desarrollo de la acuicultura en el mundo ha crecido la demanda de insumos como la harina de pescado, el cual una gran parte es extraída desde capturas en el océano y cuya demanda ha excedido la capacidad de carga y por tanto los precios en el mercado se han incrementado (Halweil 2008), luego reemplazar la harina de pescado por proteína de origen vegetal como la soya es una alternativa viable, sin embargo a pesar de los factores anti nutricionales como proteasas, fitatos, lectinas y saponinas otros autores destacan propiedades que pueden reemplazar la harina de pescado por el alto contenido de ácidos grasos esenciales, ácidos grasos insaturados y el perfil de aminoácidos (Hertrampf & Piedad-Pascual, 2000).

En estudios con tilapia roja Rincón *et al.*, (2012), realizaron ensayos de sustitución de harina de pescado por harina de *Spirulina* como alternativa, encontraron que la adición de altos porcentajes de productos de origen vegetal en dietas para peces, puede causar baja palatabilidad y aceptabilidad, reduciendo los parámetros productivos. Para las especies *Rhamdia quelen* (jundiá) y *Oreochromis niloticus* (tilapia del Nilo), especies omnívoras, con diferencias morfológicas en la longitud de los intestinos, Rodrigues *et al.*, (2012) probaron la eficiencia de diferentes fuentes vegetales (incluida soya cruda), dietas diferenciadas en fuentes fibrosas y almidonadas, donde encontraron que las fuentes ricas en fibras son menos digestibles que las almidonadas, lo que indica que las fibras usadas corresponde a fibras insolubles que aumentan la velocidad del tránsito gastrointestinal y como consecuencia reduce el tiempo de digestión.

El factor de conversión alimenticia más alto se registró en las dietas de origen vegetal (Dieta 3: soya cruda y Dieta 4: torta de soya) con valores de 1.81:1 y 1.85:1, por otra parte, el factor de conversión más bajo se observó para la dieta 2 harina de carne con un valor de 1.48:1. Para el capaz Carrera & Valbuena-Villareal (2015) reportaron valores de conversión alimenticia de 2.1:1 alimentados con concentrado al 25% de proteína bruta. Para el yaque (*Leiarius marmoratus*), silúrido suramericano reportado en las cuencas de la Orinoco y Amazonas, que actualmente forma parte de los sistemas de producción en la Orinoquia colombiana se reportó una conversión alimenticia entre 1.3:1 y 1.5:1 (Cruz-Casallas., *et al* 2010).

La variabilidad de los índices viscerosomático (IVS) está relacionado directamente con el factor de condición e inversamente con el grado de madurez del individuo (IGS) y refleja procesos de almacenamiento y de transferencia de proteínas y lípidos asociados con el esfuerzo reproductivo y con el acondicionamiento del metabolismo del pez para enfrentar periodos sin alimentación (González y Oyarzún, 2002). Los valores de los índices hepatosomático (IHS) y

grasa visceral (IGV) fueron muy cercanos a los reportados por Carrera & Valbuena-Villareal (2015) para el Capaz con una talla / peso (26.1 cm / 166 gr), sin embargo el índice viscerosomático (IVS) es mayor al registrado en este trabajo. En términos productivos se trata de una situación no deseable, pues además de que la proteína es el nutriente más costoso de la dieta, genera excesos de grasa corporal y altas tasas de excreción de amonio (Salhi, 2004; Robinson *et al.*, 2001). Para Jundiá y la tilapia Rodrigues *et al.*, (2012) encontraron que dietas con diferentes orígenes vegetales ricas en almidón generaron depósitos de ácidos grasos en el cuerpo, sugiriendo los autores que parte de esa energía proveniente del almidón fue usada para biosíntesis de lípidos.

El factor de condición es un indicador de la relación longitud / peso y es utilizado para modelar las tendencias de la biomasa basados en la talla y ampliamente usados en el manejo de poblaciones de importancia económica (Froese, 2006), en nuestro trabajo se observaron diferencias significativas ($P < 0.001$) entre las dietas compuestas por soya cruda y torta de soya (dietas 3 y 4) con respecto a los tratamientos que recibieron proteína de origen animal y la mezcla parcial.

Finalmente, la palatabilidad más que la digestibilidad es el principal inconveniente en la inclusión de las dietas con fuentes de proteína de origen vegetal, sin embargo queda claro que reemplazar la totalidad de la proteína animal disminuye el desempeño productivo, pero manejar mezclas parciales de proteínas animal y vegetal mejora la ganancia peso y longitud. Por otra parte, aún no es claro si reemplazar la harina de pescado por una proteína vegetal en la dieta pueda afectar la composición de los tejidos somáticos de los peces.

Referencias bibliográficas

- Cala P., Pérez C. & Rodríguez I. 1996. Aspectos bioecológicos de la población de capaz, *Pimelodus grosskopfii* (Pisces: Pimelodidae), en el embalse de Betania y parte alta del Río Magdalena, Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* Vol.20, No.77 319-330.
- Cruz-Casallas, N.E., Marciales-Caro, L.J., Díaz-Olarte, J.J., Murillo-Pacheco, R., Medina-Robles, V. y Cruz-Casallas, P.E. 2010. Desempeño productivo del yaque (*Leiarius marmoratus* Gill, 1870) bajo diferentes densidades de siembra en estanques en tierra. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias* 23: 22-28.
- Fasakina EA, Serwatab T. R. D., Davies S. J. 2005. Comparative utilization of rendered animal derived products with or without composite mixture of soybean meal in hybrid tilapia (*Oreochromis niloticus* x *Oreochromis mossambicus*) diets. . *Aquaculture* 249: 329– 338.
- Francis G., Makkar H. P.S., Becker K. 2001. Anti-nutritional factors present in plant-derived alternate fish feed ingredients and their effects in fish. *Aquaculture* 199:197–227.
- Froese R. 2006. Cube law, condition factor and weight–length relationships: history, meta-analysis and recommendations. *J. Appl. Ichthyol.* 22, 241–253
- González P, Oyarzún C. 2002. Variabilidad de índices biológicos en pinguipes *Chilensis valenciennes* 1833 (perciformes, pinguipedidae): ¿Están realmente correlacionados?. *Gayana* 66:249-253.

Halweil, B. 2008. Farming fish for the future. *Worldwarch Report* 176, 17–21.

Hertrampf, J.W., Piedad-Pascual, F. 2000. *Hanbook on Ingredients for Aquaculture Feeds*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, the Netherlands.

Ma Z., Hassan M. M., Allais L., He T., Leterme S., Ellis A., McGraw B. & Qin J.G. 2019. Comparison of partial replacement of fishmeal with soybean meal and enzoMeal on growth performance of Asian seabass *Lates calcarifer*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology* 216 29-37.

NRC, 2011. *Nutrient Requirements of Fish and Shrimp*. National Academies Press, Washington D.C.

R Core Team (2019) *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. <https://www.R-project.org>

Ramírez A. & Pinilla G. 2012. Hábitos alimentarios, morfometría y estados gonadales de cinco especies de peces en diferentes períodos climáticos en el río sogamoso (santander, colombia). *Acta Biológica Colombiana*, Vol. 17, Núm. 2 241-258.

Rincón DD, Velásquez HA, Dávila MJ, Semprun AM, Morales ED, Hernández JL. 2012. Niveles de sustitución de harina de pescado por harina de *Arthrospira* (=Spirulina) máxima, en dietas experimentales para alevines de Tilapia Roja (*Oreochromis* sp.). *Rev Colomb Cienc Pecu*; 25:430-437.

- Rodrigues, A. P.O, Gominho-Rosa M. D. C., Cargnin-Ferreira E., Francisco A. & Fracalossi D. M. 2012. Different utilization of plant sources by the omnivores jundiá catfish (*Rhamdia quelen*) and Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture Nutrition* 18; 65-72.
- Robinson, E.H., Li, M.H., Manning, B.B. 2001. A practical guide to nutrition, feeds, and feeding (second revision). Mississippi Agricultural and Forestry Experiment Station Bulletin N° 1113. Mississippi State, Mississippi, USA.
- Salhi, M., Bessonart, M., Chediak, G., Bellagamba, M., Carnevia, D. 2004. Growth, feed utilization and body composition of black catfish, *Rhamdia quelen*, fry fed diets containing different protein and energy levels. *Aquaculture* 231, 435–444.
- Valbuena- Villareal R. D., Zapata-Berruecos B. & Gutiérrez-Espinosa M. C. 2012. Coeficientes de digestibilidad aparente de tres ingredientes proteicos para Capaz, *Pimelodus grosskopfii*. *Orinoquia suplemento vol 16 (2)* 179-186.
- Valbuena-Villarreal, R.D., Zapata-Berruecos, B. y Otero-Paternina, A. 2013. Evaluación de la primera alimentación en larvas de capaz *Pimelodus grosskopfii* bajo condiciones de laboratorio. *Revista MVZ Córdoba* 18(2): 3518-3524.

Capítulo 3. Digestibilidad y Actividad Enzimática Digestiva en Juveniles de Capaz *Pimelodus grosskopfii*, Alimentados con Diferentes Fuentes de Proteína.

Resumen

El perfil enzimático digestivo, la digestibilidad de nutrientes y las posibles adaptaciones de la actividad de las proteasas, amilasa y lipasa se evaluaron en juveniles de capaz *Pimelodus grosskopfii* con peso y longitud de 12.4 ± 1.4 cm y 12.7 ± 4.6 g respectivamente. Estos fueron alimentados por 30 días con 6 dietas experimentales que contenían un nivel de proteína de 35 % y tres relaciones de PD/ED (100 mg kcal^{-1}). Después de la alimentación, los peces fueron sacrificados y se extrajo el trato digestivo (estómago e intestino), este fue congelado en nitrógeno líquido y almacenado a -20°C , hasta los respectivos análisis. Se detectó actividad de proteasa y amilasas a lo largo del trato gastrointestinal, siendo más alta la actividad de la amilasa en el estómago y de la proteasa en el intestino. No se observó actividad de lipasa en ninguno de los tramos evaluados. Para la proteasa en estomago no se observaron diferencias significativas entre las dietas evaluadas, sin embargo, para la proteasa en el intestino se observaron diferencias significativas, siendo las dietas harina de carne (HC) y harina carne + torta de soya (HC+TS) las de mayor actividad enzimática y la dieta harina de pescado + torta de soya (HP+TS) la de menor actividad enzimática. Por otra parte, no se observaron diferencias significativas entre las dietas evaluadas tanto para la amilasa en el estómago como intestino. Entre los CDA para materia seca se observaron diferencias significativas ($P > 0,05$), siendo los tratamientos (dietas) con fuentes de origen vegetal (Dieta 3: Soya Curda y Dieta4: Torta de soya) los de mayor CDA con respecto a las otras dietas evaluadas. En los valores de los CDA de proteína para las diferentes dietas evaluadas se observó diferencias significativas ($P < 0.01$), donde se observaron los valores más altos para las dietas 3 y 5 (soya cruda y harina de pescado + torta de soya). Para la proteína

digestible se observaron diferencias significativas ($P=0,011$), donde se observó el valor más alto para la dieta 3: Soya Cruda. El capaz es una especie que presenta enzimas digestivas de tipo inductivo, por lo que es sensible y se adapta a los cambios en la composición de la dieta, lo que confirma sus hábitos de tipo omnívoro.

Palabras clave: adaptive biochemistry, digestive enzymes, nutrition, digestibility

Abstract

The digestive enzyme profile, the digestibility of nutrients and the possible adaptations of the activity of proteases, amylase and lipase were evaluated in juveniles of capaz *Pimelodus grosskopfii* with weight and length of 12.4 ± 1.4 cm and 12.7 ± 4.6 g respectively. These were fed for 30 days with 6 experimental diets containing a 35% protein level and three PD / ED ratios (100 mg kcal^{-1}). After feeding, the fish were sacrificed and the digestive treatment (stomach and intestine) was extracted, this was frozen in liquid nitrogen and stored at -20°C , until the respective analyzes. Protease and amylase activity was detected throughout the gastrointestinal treatment, the activity of amylase in the stomach and protease in the intestine being higher. No lipase activity was observed in any of the sections evaluated. For the stomach protease no significant differences were observed between the diets evaluated, however, for the protease in the intestine significant differences were observed, being the meat meal (HC) and meat meal + soy cake (HC + TS) diets. those with the highest enzyme activity and the diet fishmeal + soy cake (HP + TS) the one with the lowest enzyme activity. On the other hand, no significant differences were observed between the diets evaluated for both amylase in the stomach and intestine. Among the CDA for dry matter, significant differences were observed ($P > 0.05$), being the treatments (diets) with sources of plant origin (Diet 3: Soy and Diet 4: Soy Cake) those of higher CDA with respect to other diets evaluated. In the values of the protein CDA for the

different diets evaluated, significant differences were observed ($P < 0.01$), where the highest values were observed for diets 3 and 5 (raw soybeans and fishmeal + soy cake). For the digestible protein, significant differences were observed ($P = 0.011$), where the highest value for diet 3: Raw Soy was observed. The capaz is a species that presents inductive digestive enzymes, so it is sensitive and adapts to changes in the composition of the diet, which confirms its omnivorous habits.

Key words: adaptive biochemistry, digestive enzymes, nutrition, siluridae

Introducción

Los procesos digestivos transforman el alimento en compuestos simples (aminoácidos, ácidos grasos, glicerol y azúcares), para que sean convertidos en tejidos, lo que implica la presencia y acción de enzimas a lo largo del tracto digestivo (De Silva y Anderson, 1995). Las enzimas más importantes en la digestión son la pepsina, la tripsina y la quimotripsina que catalizan la hidrólisis de la mayoría de péptidos (Steffens, 1987; Zimmermann y Jost, 1998) y la amilasa que actúa en los enlaces glucosídicos α -1,4 de los carbohidratos (Lovell, 1988).

El patrón de enzimas digestivas refleja los hábitos de alimentación de los peces (herbívoros, detritívoros, omnívoros y carnívoros) y expresa su capacidad digestiva (Smith, 1980; Fagbenro *et al.*, 2000). En una perspectiva muy general, se tiene que los peces con hábitos herbívoros y omnívoros tienen una mayor actividad de amilasa que los carnívoros, los que presentan mayor actividad de proteasas; en las especies detritívoras la mayor actividad corresponde a las amilasas (García-Carreño *et al.*, 2002; Gupta y Homechaudhuri, 2011). Sin embargo, en el estudio realizado por López-Vásquez *et al.* (2009), en ocho especies amazónicas encontraron que los niveles de enzimas digestivas están reguladas más por la disponibilidad de nutrientes, que por el

hábito de alimento; resultados similares han sido previamente reportados por Chakrabarti *et al.* (1995) para 11 especies de teleósteos.

Generalmente, la actividad de las enzimas digestivas se ve afectada por factores como: cantidad de sustrato (Lhoste *et al.*, 1994), composición de la dieta (Deguara *et al.*, 2003), edad (Wang *et al.*, 2006), pH del alimento, temperatura (Kuz'mina, 1990; 1996), hábito de alimento (Fagbenro *et al.*, 2000) y morfología digestiva (Tengjaroenkul, 2000). La literatura sobre actividad enzimática digestiva de peces de clima tropical es escasa, para el caso específico de Colombia, es reciente. Para silúridos las investigaciones se han enfocado en las posibles relaciones existentes entre los procesos digestivos y los hábitos de alimento (Gupta y Homechoudhury, 2011), ontogenia digestiva en larvas (Castañeda- Álvarez, 2009), efecto del nivel de nutrientes (Lundstedt *et al.*, 2004; Melo *et al.*, 2002), composición de la dieta (Lazzari *et al.*, 2010) y frecuencia de alimentación (Uys y Hecht, 1987). Este tipo de estudios contribuyen a puntualizar el mecanismo de la digestión y la adaptación de los organismos a los cambios en el entorno nutricional (Sunde *et al.*, 2004). A partir del perfil enzimático digestivo, es posible predecir la capacidad de las especies para utilizar diferentes nutrientes, pues cambios en el tipo, origen y cantidad de estos pueden alterar el perfil y su concentración (Lundstedt *et al.*, 2004); esta plasticidad puede ser empleada para maximizar el uso de los nutrientes disponibles en la dieta (Moraes y Bidinotto, 2000). La capacidad de adaptación a los procesos digestivos, puede variar entre especies, por ejemplo, los carnívoros muestran una capacidad limitada en alterar su función digestiva y de transporte de nutrientes de acuerdo con la composición de la dieta, en cuanto los omnívoros presentan una mayor habilidad en modular su fisiología digestiva (Buddington *et al.*, 1997). Los peces poseen la capacidad de modular su perfil digestivo tanto en cualidades (Chiu y Pan 2002) como en cantidades de nutrientes en la dieta (De Almeida *et al.*,

2006; Honorato, 2008), siendo esta una característica adaptativa favorable a las actividades de cultivo. Considerando el carácter inductivo de las enzimas digestivas, la flexibilidad fenotípica de las especies puede permitir no solo los ajustes necesarios y la optimización de los nutrientes de la dieta, si no también explorar la capacidad adaptativa de los peces frente a fuentes alternativas de energía metabólica (Honorato, 2008).

La carencia de conocimientos sobre los aspectos mencionados, se constituyen en fuertes limitantes para el desarrollo y posicionamiento de especies promisorias en la acuicultura nacional, caso específico del capaz (*Pimelodus grosskopfii*), especie omnívora que muestra cualidades favorables para su cultivo, entre las que se destacan: flexibilidad alimenticia, aceptación por el alimento artificial desde etapas tempranas y buenas tasas de sobrevivencia. En este sentido el objetivo del presente trabajo fue evaluar perfil enzimático digestivo y la digestibilidad en juveniles de capaz alimentado con dietas formuladas a partir de fuentes de origen animal, vegetal y mezcla de ambas. Lo anterior con el fin de observar las posibles adaptaciones enzimáticas que ocurren en respuesta a la composición de la dieta como una herramienta para predecir los procesos digestivos y optimizar la composición de nutrientes en la alimentación de la especie, ayudando a aclarar problemas nutricionales relacionados con la fisiología digestiva.

Materiales y Métodos

Localización. El desarrollo del trabajo experimental se realizó en los laboratorios de la Estación Experimental Surcolombiana de Recursos Hidrobiológicos, ubicada dentro del predio “La Granja Experimental”, propiedad de la Universidad Surcolombiana, vereda San Miguel Palermo – Huila, situada a 461 m.s.n.m., a siete (7) Km de la ciudad de Neiva, dentro del área que cubre el distrito de adecuación de tierras de mediana escala Juncal. Esta zona presenta una

temperatura ambiental promedio de 28.6°C y está ubicado geográficamente en los 2°53'10.5"LN 75°18'22.8"LO.

Material biológico. Terminado el experimento de crecimiento, los juveniles fueron sembrados en las unidades experimentales, hasta alcanzar un tamaño que permitiera un estómago e intestino con pesos mayores o iguales a 100 mg. Se utilizaron 180 animales, de 12.7± 4.6 g y 12.4± 1.4 cm peso y longitud total respectivamente, 10 por tratamiento (6 tratamientos x 3 réplicas cada una). Estos fueron alimentados dos veces al día (8 am- 4 pm), hasta aparente saciedad con las dietas experimentales utilizadas en los ensayos de crecimiento (Tabla 8), por un periodo de 30 días.

Tabla 9. *Formulación de dietas semipurificadas para la alimentación de alevinos de capaz Pimelodus grosskopfii, bajo condiciones de laboratorio.*

Ingrediente (g kg ⁻¹ dieta)	Dietas					
	HP	HC	TS	SC	HP+TS	HC+TS
Harina de pescado	250	0	0	0	140	0
Harina de carne y huesos	0	260	0	0	0	140
Torta de soya	0	0	273	0	140	140
Soya cruda	0	0	0	380	0	0
Caseína ¹	209	248	220	219	203	227
Dextrina	395	392	394	305	390	389
Aceite de pescado	30	30	30	30	30	30
Aceite de vegetal	30	30	30	30	30	30
Alfa celulosa	64	18	31	14	45	22
Otros ingredientes ²	22	22	22	22	22	22
Proteína bruta %	35	35	35	35	35	35
ED (Kcal g ⁻¹ MS)	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5

Nota: elaboración propia ¹Otros ingredientes (g kg⁻¹ dieta): *Premezcla Rovimix tilapias* ® Lab. DSM Nutritional Products Colombia 3.0 (Vit A 7.5*10⁵ KUI, Vit D3 3.7*10⁵ KUI, Vit E 10.8*10³ mg, Vit K3 1.66*10³ mg Vit B1 1.83*10³ mg, Vit B2 2.9 *10³, Vit B6 1.8*10³ mg, Vit B12 3.3 mg, Ac. Ascórbico 4.1*10⁴ mg, Niacina 7.5*10³ mg, Acido pantotenico 8.3*10³ mg, AcidoFólico 1.6*10⁵mg, Biotina 2.5*10³ mg, Cobre 2.8*10⁴ mg, Hierro 2.5*10³ mg, Manganeso 0.167 mg, Yodo 2.1 *10⁴ mg, Zinc 6.6 *10⁴, Selenio 9.1 *10⁴ mg, Magnesio 9.1*10⁴ mg, Inositol F.G 5.8 *10⁴ mg, Luctanox E 25 g, veículoc.b.p 1.0 kg. *Rovimix STAY-C 35* ® Lab. DSM Nutritional Products Colombia 1.0 (I- Acido Ascorbico 2- monofosfato 34.2 %).*Premezcla de macrominerales* 40 (Composición por 100 g de mezcla: Ca (H₂PO₄) 13.6 g; Lactato de Ca 34.85 g; 2MgSO₄.7 H₂O 13.2 g; KH₂PO₄ 24 g; NaCl 4.5 g; AlCl₃ 0.015 g, CMC 9.835 g).

Unidades experimentales. Se utilizó una batería de 18 acuarios de 40 L de capacidad cada uno, ubicados dentro de un sistema cerrado que opera con recirculación (flujo continuo de 2 L seg^{-1}), aireación constante, control de temperatura, esterilización con luz ultravioleta (UV), filtros biológicos y mecánicos. Como medida preventiva, en el sistema se mantuvo un tratamiento profiláctico constante con cloruro de sodio (NaCl) al 0.9%.

Los parámetros de calidad de agua: oxígeno disuelto (OD), temperatura, pH, conductividad y salinidad fueron monitoreados diariamente utilizando un equipo multiparamétrico HACH® HQ40d; el nitrógeno total (amonio, nitritos y nitratos), fue medido semanalmente con un fotómetro Spectroquant® NOVA 60.

Determinaciones Enzimáticas

Obtención de la muestra. Terminado el experimento los peces fueron sometidos a ayuno de 24 horas, sacrificados por sobredosis de tricaina metanosulfonato (MS-222, 100 ppm), se registró el peso y longitud total. Posteriormente se realizó corte ventral, desde la altura del opérculo hasta el orificio anal, el tracto digestivo fue disectado sobre un vidrio de reloj en superficie de hielo (4°C), el contenido del tracto digestivo fue descartado y este fue dividido en estómago e intestino completo. Los tejidos fueron inmediatamente congelados en nitrógeno líquido y trasferidos a -20°C hasta los análisis bioquímicos.

Preparación homogenizados enzimáticos. Para facilitar la obtención de una cantidad suficiente de homogenizado, se utilizó el estómago e intestino completo (debido al tamaño de los ejemplares al finalizar el ensayo). La muestra tomada para ambos casos fue de aproximadamente 100 mg, estas fueron homogenizadas en 1 mL de tampón de homogenización (fosfato de sodio monobásico 10 mM y tris 20 mM - pH 7,0 en glicerol 50% v/v) a 1000 rpm por 3 minutos a 4°C , utilizando un homogeneizador eléctrico de tejidos IKA T 10 Basic ULTRA-TURRAX®. Los

homogenizados fueron centrifugados a 12000 rpm por 3 minutos a 4°C, utilizando centrifuga refrigerante 5424R Eppendorf®. Los sobrenadantes fueron empleados para cuantificar la actividad enzimática. Para cada una de las enzimas y cada parte del tracto digestivo se estandarizó la cantidad de homogenizado enzimático, pH y tiempo de reacción.

Ensayos Enzimáticos

Actividad proteasa inespecífica. La actividad proteolítica total fue cuantificada utilizando el método de hidrólisis de caseína, adaptado por Hidalgo et al. (1999). Para la reacción enzimática se utilizó 0.2 M de glicina - HCl en buffer con pH 2.0, para estómago y 0.1 M de tris-HCl en buffer con pH 8.0, para intestino. La reacción enzimática estuvo constituida por 1% de caseína en agua (500 µL), buffer (480 µL), 20 µL de extracto enzimático. Posteriormente fue incubada a 25 °C durante 60 minutos, la reacción fue interrumpida con 500 µL de TCA 20% (ácido tricloroacético), mantenido en hielo por 30 minutos y centrifugada a 12000 rpm por 4 minutos para la lectura del sobrenadante a una densidad óptica de 280 nm. Todas las muestras fueron realizadas por duplicado e paralelamente dos blancos, uno de enzima (donde la cantidad de enzima fue sustituida por agua desionizada) y otro de sustrato (donde el sustrato fue sustituido por agua desionizada), pasaron por los mismos procedimientos en los tubos de reacción. La tirosina fue utilizada como patrón, siendo una unidad de actividad enzima definida como la cantidad de enzima necesaria para catalizar la formación de 1µg de tirosina por 1 min (U). La actividad específica esta expresada en unidades por mg de proteína (U mg proteína-1).

Actividad amilasa. El ensayo de la actividad amilohidrolítica fue realizado según el “kit” clínico Amilasa CNPG Liquiform (LABTEST, Lagoa Santa, MG, Brasil). El principio del

método se basa en la conversión de α -(2-cloro-4-nitrofenil)- β -1,4-galactopiranosilmaltosida (Gal-G2- α -CNP) por acción de la α -amilasa, liberando 2-cloro-4-nitrofenol y 1,4-galactopiranosilmaltosida. La reacción se mantuvo a 37°C y fue medida a 405 nm. La actividad específica esta expresada en μ mol de glucosa hidrolizada por minuto por mg de proteína (U mg proteína⁻¹).

Actividad de lipasa no específica. Las actividades lipolíticas no específicas para estómago e intestino fueron determinadas según la metodología de Albro et al. (1985), modificada por Lundstedt et al. (2004). Las reacciones fueron incubadas a 25 °C por 30 minutos, una muestra de homogenizado enzimático (30 μ L), 970 μ L de sustrato p -nitrofenil miristato 0.4 mM, diluido en buffer amonio bicarbonato 24 mM (pH 7.8) y 0.5% de Triton X-100® (usado como emulsificante). La reacción se detuvo por adición de NaOH (25 mM) y la densidad óptica se registró a 405 nm. Una unidad enzimática (U) se definió como μ mol de sustrato hidrolizado por minuto y se expresa por mg de proteína (U mg proteína⁻¹).

Determinación de proteína total. Para establecer las actividades específicas de cada enzima, las concentraciones de proteína total de los tejidos del tracto digestivo fueron determinadas por el método de Bradford (1976). Este método consiste en la mezcla de 20 μ L de homogenizado enzimático, previamente diluido en tampón de homogenización para ajuste de la concentración, con el reactivo de Bradford Sigma-Aldrich (B6916) ®. Posteriormente la reacción fue incubada a temperatura ambiente por 10 minutos y leída a 595 nm. La concentración de proteína fue calculada utilizando una solución estándar de albúmina de suero bovina (BSA) (1 mg mL⁻¹).

Digestibilidad de Dietas Experimentales

Alimentación y colecta de heces. Una vez culminado el seguimiento para la determinación de enzimas digestivas, fueron seleccionados 90 ejemplares de capaz, con peso promedio de 16.5 ± 21 g y sometidos a un periodo de aclimatación de dos semanas en tanques de plástico de 2000 L. Durante 15 días fueron alimentados con las diferentes dietas experimentales, dos veces al día hasta aparente saciedad. Para la colecta de heces fueron utilizados tres tanques de 200 L construidos en fibra de vidrio con fondo cónico provisto de un dispositivo removible para la concentración de las heces. Se mantuvo recambio de agua a una tasa de 2 L min^{-1} por tanque cónico, aireación permanente para garantizar niveles de oxígeno adecuados.

Determinación de los coeficientes de digestibilidad. Las estimaciones de los coeficientes de digestibilidad aparente de las diferentes dietas experimentales fueron por el método indirecto propuesto por Cho et al. (1985). El coeficiente de digestibilidad aparente (CDA) de la proteína y materia seca, se calcularon utilizando la ecuación de Nose (1966).

$$CDANut (\%) = 100 - \left(100 \times \left(\frac{\%Cr_2O_3 d}{\%Cr_2O_3 h} \times \frac{\%Nut h}{\%Nut d} \right) \right)$$

Dónde:

CDANut (%) = Coeficiente de digestibilidad aparente del Nutriente.

%Cr₂O₃ d= Porcentaje de óxido de cromo de la dieta.

%Cr₂O₃ h= Porcentaje de óxido de cromo de las heces.

%Nut h= Porcentaje del nutriente en las heces.

%Nut d= Porcentaje del nutriente en la dieta.

Análisis estadístico. Los datos de la actividad enzimática fueron procesados y descritos como media \pm desviación estándar. En el análisis de los efectos de los tratamientos (dietas) se aplicó análisis de varianza de un factor (ANOVA); verificando previamente los supuestos de normalidad (prueba de Kolmogorov-Smirnov) y homogeneidad de varianzas (prueba de Levene). Se utilizó el test de Duncan para comparar las medias entre los diferentes tratamientos, como prueba a posteriori luego de establecer diferencias significativas. Se utilizó la correlación de Pearson para establecer asociación entre los perfiles enzimáticos y los coeficientes de digestibilidad. En todas las pruebas se estableció $\alpha = 0.05$. Para los análisis se utilizó el programa estadístico R core team (2019).

Resultados

Parámetros de calidad de agua. Durante el período experimental las medias de los parámetros de calidad de agua se mantuvieron dentro de los rangos considerados como adecuados para el cultivo de especies de clima cálido. Se monitoreo la temperatura (29.6 ± 1.5 °C), oxígeno disuelto (7.2 ± 0.4 mg L⁻¹), pH (8.1 ± 0.2), concentración de amonio y nitritos (siempre fue inferior a 0.02 mg L⁻¹), la conductividad (552 ± 222 μ s cm⁻¹) y salinidad (0.4 ± 0.3 ‰).

Actividad enzimática. Fue detectada hidrólisis de proteína y carbohidratos a lo largo del tracto digestivo (Figura 8), siendo más alta la actividad de la amilasa en el estómago y de la proteasa en el intestino. No se observó actividad de lipasa en ninguno de los tramos evaluados.

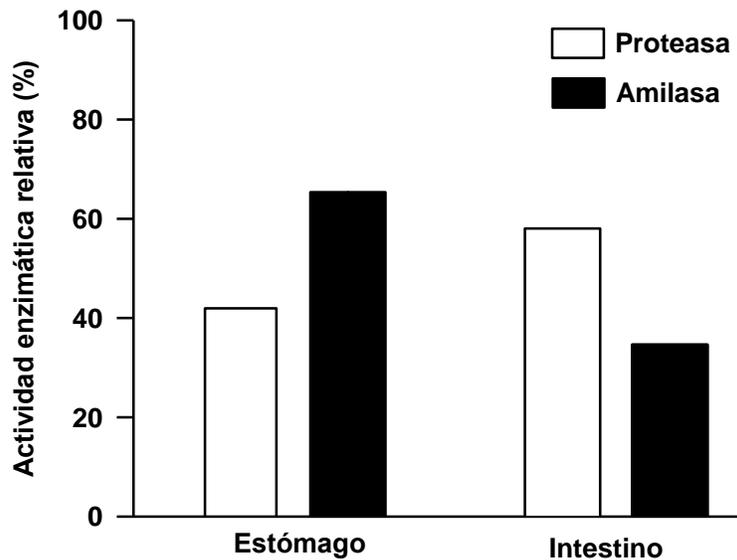


Figura 8. Actividad enzimática relativa de proteasa, proteasa inespecífica y amilasa en estómago e intestino de capaz (*Pimelodus grosskopfii*) expresada en porcentaje (%). La actividad relativa fue calculada así: $AR = \frac{Z_i}{\sum z} \times 100$, donde Z es la suma de las medias de todos los tratamientos en una sección del tracto digestivo y $\sum z$ es la suma de las medias de todos los tratamientos en todas las secciones del tracto digestivo.

En la tabla 9 se presenta los valores promedio de la actividad enzimática para cada una de las dietas evaluadas. Para la proteasa en estomago no se observaron diferencias significativas entre las dietas evaluadas (Figura 9a), sin embargo para la proteasa en el intestino se observaron diferencias significativas (Figura 9b), siendo las dietas harina de carne (HC) y harina carne + torta de soya (HC+TS) las de mayor actividad enzimática y la dieta harina de pescado + torta de soya (HP+TS) la de menor actividad enzimática.

Tabla 10. Valores medios y resultados de las comparaciones entre los parámetros enzimáticos evaluados al final del ensayo sobre los juveniles de capaz para cada uno de los 6 tratamientos experimentales. Los datos se expresan como media \pm desviación estándar (DE).

Tratamiento	Proteasa estómago (mg/ml)	Proteasa intestino (mg/ml)	Proteasa inespecífica alcalina (U/mg proteína)	Proteasa inespecífica acida (U/mg proteína)	Estómago Amilasa (U/mg proteína)	Intestino Amilasa (U/mg proteína)
Dieta 1: HP	0,071 \pm 0,022 ^a	0,094 \pm 0,034 ^{abc}	0,08 \pm 0,101 ^a	0,912 \pm 0,369 ^a	10,8 \pm 5,32 ^a	5 \pm 2,81 ^a
Dieta 2: HC	0,066 \pm 0,025 ^a	0,114 \pm 0,035 ^c	0,053 \pm 0,073 ^a	0,941 \pm 0,392 ^a	12,9 \pm 9,65 ^a	6,1 \pm 6,8 ^a
Dieta 3: SC	0,072 \pm 0,02 ^a	0,087 \pm 0,034 ^{ab}	0,074 \pm 0,078 ^a	0,921 \pm 0,287 ^a	10,9 \pm 7,16 ^a	6,7 \pm 5,34 ^a
Dieta 4: TS	0,062 \pm 0,022 ^a	0,089 \pm 0,026 ^{ab}	0,117 \pm 0,114 ^a	1,053 \pm 0,608 ^a	14,2 \pm 9,07 ^a	6,4 \pm 5,49 ^a
Dieta 5: HP+TS	0,072 \pm 0,02 ^a	0,078 \pm 0,02 ^a	0,083 \pm 0,108 ^a	0,87 \pm 0,244 ^a	8,7 \pm 5,01 ^a	7,9 \pm 6,13 ^a
Dieta 6: HC+TS	0,065 \pm 0,017 ^a	0,103 \pm 0,034 ^{bc}	0,063 \pm 0,067 ^a	0,851 \pm 0,341 ^a	12,3 \pm 8,07 ^a	4,9 \pm 3,96 ^a
ANOVA 1 factor						
Dieta	P=0,553	P<0.01*	P=0,407	P=0,653	P=0,306	P=0,516

Nota: Elaboración propia. a, b, c Letras distintas entre las columnas presentan diferencias significativas según el test a posteriori de Duncan ($p < 0.05$).

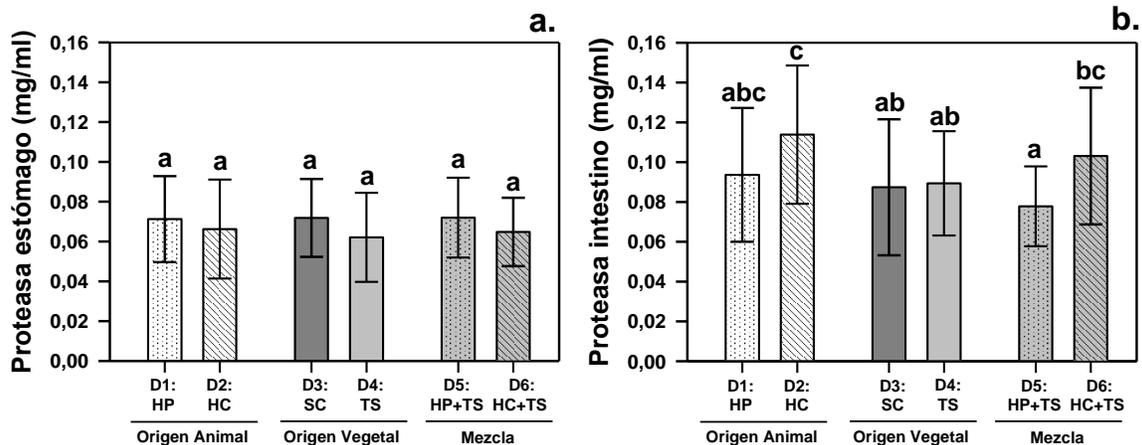


Figura 9. Actividad de la proteasa en el estómago (a.) e intestino (b.) de capaz (*Pimelodus grosskopfii*) para las diferentes dietas evaluadas. HP (Harina pescado), HC (Harina de carne), SC (Soya cruda), HP+TS (Harina pescado+torta de soya) y HC+TS (Harina de carne+torta de soya). Valores con letras distintas son significativamente diferentes según el test de Duncan ($p < 0.05$). Valores mostrados como media \pm SD.

Para la proteasa inespecífica alcalina se observó un comportamiento similar a la observada para la proteasa ácida, donde no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados (Figura 10 a y b).

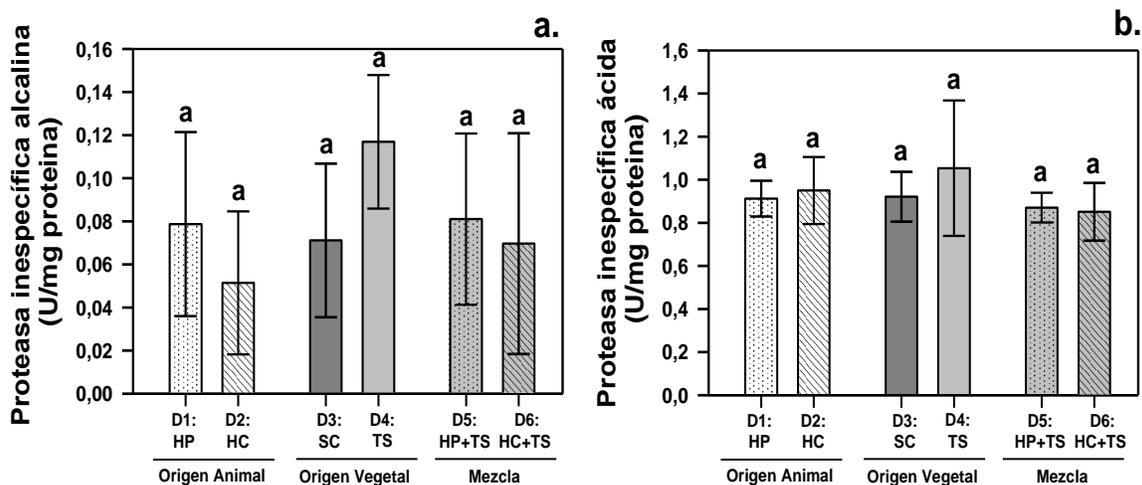


Figura 10. Actividad proteolítica inespecífica alcalina (a) y ácida (b) (*Pimelodus grosskopfii*) para las diferentes dietas evaluadas. HP (Harina pescado), HC (Harina de carne), SC (Soya cruda), HP+TS (Harina pescado+torta de soya) y HC+TS (Harina de carne+torta de soya). Valores con letras distintas son significativamente diferentes según el test de Duncan ($p < 0.05$). Valores mostrados como media \pm SD.

La actividad enzimática de la amilasa se detectó a lo largo del tracto gastrointestinal (figura 11 a y b). Sin embargo, la actividad enzimática fue superior en el estómago. Por otra parte, no se observaron diferencias significativas entre las dietas evaluadas tanto para la amilasa en el estómago como intestino.

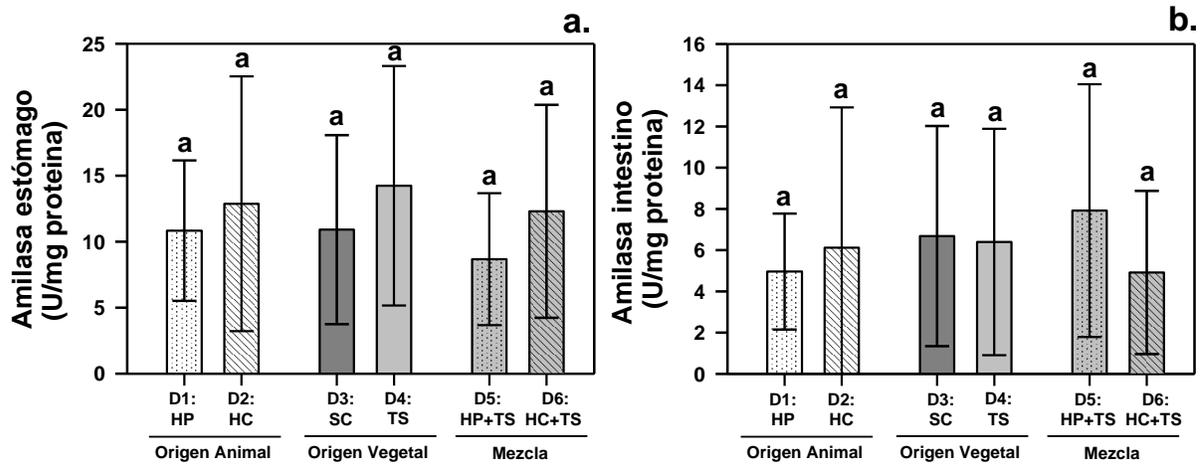


Figura 11. Actividad amilohidrolítica en el estómago (a.) e intestino (b.) de capaz (*Pimelodus grosskopfii*) para las diferentes dietas evaluadas. HP (Harina pescado), HC (Harina de carne), SC (Soya cruda), HP+TS (Harina pescado+torta de soya) y HC+TS (Harina de carne+torta de soya). Valores con letras distintas son significativamente diferentes según el test de Duncan ($p < 0.05$). Valores mostrados como media \pm SD.

Coefficientes de digestibilidad. Los coeficientes de digestibilidad aparente (CDA) para materia seca, proteína, y proteína digestible para cada uno de los tratamientos evaluados se presentan en la Tabla 10. Entre los CDA para materia seca se observaron diferencias significativas ($P > 0,05$), siendo los tratamientos (dietas) con fuentes de origen vegetal (Dieta 3: Soya Curda y Dieta4: Torta de soya) los de mayor CDA con respecto a las otras dietas evaluadas. En los valores de los CDA de proteína para las diferentes dietas evaluadas se observó diferencias significativas ($P < 0.01$), donde se observaron los valores más altos para las dietas 3 y 5 (soya

cruda y harina de pescado + torta de soya). Para la proteína digestible se observaron diferencias significativas ($P=0,011$), donde se observó el valor más alto para la dieta 3: Soya Cruda (figura 12).

Tabla 11. *Valores medios del coeficiente de digestibilidad aparente (% CDA) al final del ensayo sobre los juveniles de capaz para cada uno de los 6 tratamientos experimentales. Los datos se expresan como media \pm desviación estándar (DE).*

Tratamiento	CDA (%) de Materia seca	CDA (%) de Proteína	Proteína digestible (%)
Dieta 1: HP	65,9 \pm 5,11 ^a	81,9 \pm 5,3 ^a	27,8 \pm 1,8 ^{ab}
Dieta 2: HC	60 \pm 15,89 ^{ab}	81,3 \pm 10,86 ^a	27,5 \pm 3,67 ^a
Dieta 3: SC	83,7 \pm 1,45 ^b	97 \pm 0,99 ^a	33,6 \pm 0,35 ^b
Dieta 4: TS	72,1 \pm 7,81 ^{ab}	86,9 \pm 4,81 ^a	29,1 \pm 1,61 ^{ab}
Dieta 5: HP+TS	70,6 \pm 13,9 ^{ab}	91,2 \pm 4,97 ^a	29,7 \pm 1,62 ^{ab}
Dieta 6: HC+TS	50,5 \pm 15,15 ^a	61,3 \pm 17,96 ^b	21,2 \pm 6,21 ^c
ANOVA 1 factor Dieta	P=0,049*	P=0,009*	P=0,011*

Nota: Elaboración propia. a, b, c Letras distintas entre las filas presentan diferencias significativas según el test a posteriori de Duncan ($p<0.05$).

En la tabla 13 se presenta los valores de correlación entre el coeficiente de digestibilidad aparente (CDA) y los valores de respuesta de actividad enzimática, donde no se observó una asociación significativa.

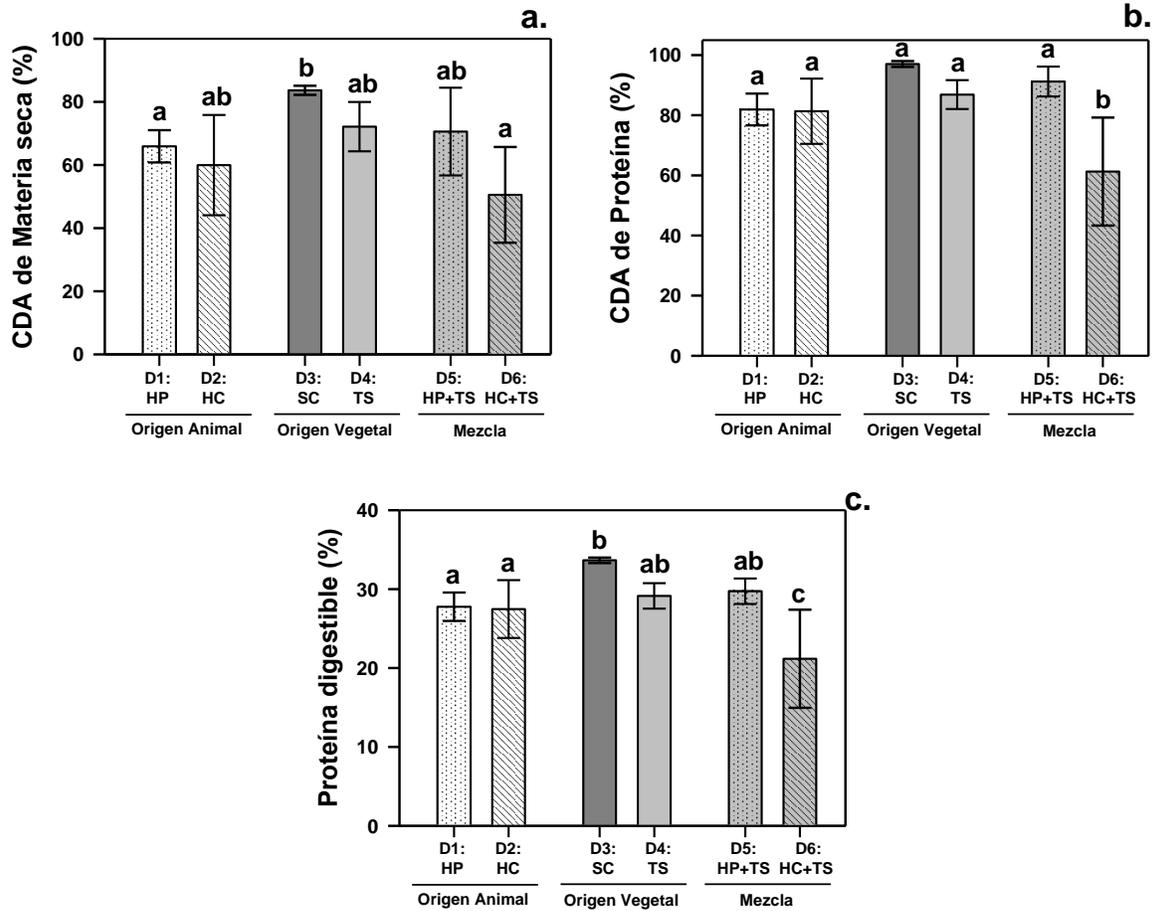


Figura 12. Coeficiente de digestibilidad aparente (CDA) de materia seca, proteína y (%) proteína digerible de capaz (*Pimelodus grosskopfii*) para las diferentes dietas evaluadas. HP (Harina pescado), HC (Harina de carne), SC (Soya cruda), HP+TS (Harina pescado+torta de soya) y HC+TS (Harina de carne+torta de soya). Valores con letras distintas son significativamente diferentes según el test de Duncan ($p < 0.05$). Valores mostrados como media \pm SD.

Tabla 12. Valores de correlación entre el coeficiente de digestibilidad aparente (CDA) y los valores de respuesta de actividad enzimática.

CDA \ Actividad enzimática	Proteasa Estomago (mg/ml)	Proteasa intestino (mg/ml)	Proteasa inespecífica alcalina (U/mg proteína)	Proteasa inespecífica acida (U/mg proteína)	Amilasa Estomago (U/mg proteína)	Amilasa Intestino(U/mg proteína)
CDA Materia seca (%)	0,25	-0,34	-0,03	0,41	-0,21	0,03
CDA Proteína (%)	0,22	-0,44	0,16	0,38	-0,17	0,26
Proteína digestible (%)	0,22	-0,42	0,15	0,39	-0,13	0,26

Nota: Elaboración propia

Discusión

El capaz (*Pimelodus grosskopfii*) es una especie omnívora que muestra cualidades favorables para su cultivo, entre las que se destacan: flexibilidad alimenticia, aceptación por el alimento artificial desde etapas tempranas y buenas tasas de sobrevivencia (Valbuena- Villareal et al., 2012). Por otra parte, reemplazar las fuentes de proteínas de origen animal por fuentes de origen vegetal pueden afectar la digestibilidad y el balance de aminoácidos por la presencia de sustancias antinutricionales presentes en la dietas con proteína de origen vegetal (Ma et al., 2019; NRC, 2011; Francis et al., 2001).

En el presente estudio, fue detectada hidrólisis de proteína y carbohidratos a lo largo del tracto digestivo de capaz y ese resultado es compatible con la flexibilidad morfológica y fisiológica digestiva de las especies omnívoras (Hakim et al., 2006), donde se observó mayor actividad enzimática de la proteasa en el intestino y mayor actividad de la amilasa en el estómago para el capaz. El capaz presentó actividad proteolítica inespecífica ácida (estómago) y alcalina (intestino), lo que sugiere que estas dos porciones del tracto digestivo son las encargadas de la digestión de las proteínas en esta especie, es importante mencionar que la especie no posee ciegos pilóricos (Zapata & Vázquez 2017).

Las enzimas digestivas tienen como papel fundamental la degradación de las macromoléculas a formas más simples, sin embargo el funcionamiento enzimático se ve reflejado en la fisiología de la especie y las características de los alimentos. Algunos trabajos han reportado para dietas con proteína de origen vegetal la presencia de sustancias anti-nutricionales como inhibidores de la proteasa (Francis et al., 2001), también en especies amazónicas, se encontró que los niveles de enzimas digestivas están reguladas más por la disponibilidad de nutrientes, que por el hábito de alimento López-Vásquez *et al.* (2009).

En el perfil enzimático digestivo del capaz, alimentado con diferentes orígenes de proteína (animal, vegetal y mezcla), se encontró diferencias significativas en las cantidades de proteasas en el intestino. Sin embargo la amilasa tanto en estómago como intestino no presentó diferencias significativas. A pesar que solo encontró diferencias en la actividad enzimática de las proteasas en el intestino, las dietas que recibieron harina de carne y harina de carne + torta de soya presentaron la mayor actividad. En una perspectiva muy general, se tiene que los peces con hábitos omnívoros tienen una mayor actividad de amilasa que los carnívoros, los que presentan mayor actividad de proteasas; en las especies detritívoras la mayor actividad corresponde a las amilasas (García-Carreño et al., 2002; Gupta y Homechaudhuri, 2011).

En el presente trabajo, la actividad proteolítica alcalina y ácida a nivel del estómago, no se observaron diferencias significativas con las dietas evaluadas, es decir el comportamiento enzimático a los diferentes orígenes de proteína animal, vegetal y su mezcla fue similar. Acorde a lo reportado por Melo (2002) para *Rhamdia quelen* donde la actividad proteolítica ácida inespecífica aumentó de forma lineal con el aumento del contenido de proteico en la dieta. Esta respuesta muestra el carácter inductivo de esta enzima, el aumento de la actividad proteolítica,

comparada con el contenido de proteína ofertada demuestran el carácter adaptativo en la especie y por lo tanto la posibilidad de ajuste de nutrientes para la optimización de las dietas.

Además la actividad proteolítica inespecífica en capaz también responden a la composición de la dieta, indicando que esta actividad proteolítica es influenciada además por el nivel de lípidos y carbohidratos de esta. Experimentos realizados con *Rhamdia quelen* y en *Pseudoplatystoma corruscans*, demuestran que la actividad de las proteasas alcalinas pueden sufrir mayor influencia de tipo dietario (composición) que simplemente por la variación de la cantidad de proteína (Melo *et al.*, 2002; Lunsdstedt *et al.*, 2004).

Aunque todas las dietas recibieron el mismo contenido de proteína con insumos de diferente origen, la actividad proteolítica ácida y alcalina presento un comportamiento muy similar, lo que permite establecer que la actividad proteolítica responde de manera similar a los diferentes orígenes de proteína en la composición de la dieta, sin embargo se ha reportado que las proteínas de origen vegetal presentan más dificultad en la digestión que las proteínas de origen animal (Hidalgo *et al.*, 1999).

El estudio de la actividad digestiva de enzimas proteasas y amilasas muestra la capacidad de una especie como el capaz de tomar la proteína y los carbohidratos de una dieta tanto de origen vegetal como animal, como se encontró en el presente trabajo la actividad de la amilasa corresponde a un especie omnívora (Zapata & Vázquez 2017). Considerando el carácter inductivo de las enzimas digestivas, la flexibilidad fenotípica de las especies puede permitir no solo los ajustes necesarios y la optimización de los nutrientes de la dieta, si no también explorar la capacidad adaptativa de los peces frente a fuentes alternativas de energía metabólica (Honorato, 2008).

El trabajo de Zapata & Vázquez (2017) establece que la alimentación interfiere en la actividad de las enzimas en el tracto digestivo del *Pimelodus grosskopfii*, y la combinación apropiada entre las actividades de las enzimas de carácter adaptativo es fundamental en el establecimiento de los niveles adecuados de macronutrientes, tanto para prevenir las pérdidas como para optimizar el crecimiento y desarrollo de la especie.

Referencias Bibliograficas

- Buddington, R.K., Krogdahl, A., Bakke-McKellep, A.M., 1996. The intestines of carnivorous fish: structure, functions, and the relations with diet. *Acta physiologica Scandinavica. Supplementum* 638, 67-80.
- Francis G., Makkar H. P. S., Becker K. 2001. Anti-nutritional factors present in plant-derived alternate fish feed ingredients and their effects in fish. *Aquaculture* 199:197–227.
- Francis G., Makkar H. P.S., Becker K. 2001. Anti-nutritional factors present in plant-derived alternate fish feed ingredients and their effects in fish. *Aquaculture* 199:197–227.
- García-Carreño, F.L., Albuquerque-Cavalcanti, C., Del Toro, M.A.N., Zaniboni-Filho, E., 2002. Digestive proteinases of *Brycon orbignyanus* (Characidae, Teleostei): characteristics and effects of protein quality. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology* 132(2), 343-352.
- Gupta, S.S., Homechoudhury, S., 2011. Comparison of trophic niche and digestive enzymes of four species of cat fishes of the Punarbhaba River in India. *Indian Journal of Fisheries* 58(4), 79-85.
- Hakim, Y., Uni, Z., Hulata, G., Harpaz, S., 2006. Relationship between intestinal brush border enzymatic activity and growth rate in tilapias fed diets containing 30% or 48% protein. *Aquaculture* 257(1), 420-428.
- Hidalgo, M.C., Urea, E. and Sanz, A. 1999. Comparative study of digestive enzymes in fish with different nutritional habits: Proteolytic and amylase activities. *Aquaculture*, 170: 267-283.

- Honorato, C.A., 2008. Desempenho, enzimología e metabolismo de juvenis de pacu (*Piaractus mesopotamicus*) alimentados con dietas peletezadas e extrusadas con niveis medio e alto de lipideos e carboidratos. Tese (Docutorado en Ciencias Fisiologicas) - Departamento de Ciencias Fisiologicas. Universidades Federal de Sao Carlos. Sao Carlos.114p.
- López-Vásquez, C.A., Castro-Pérez, A.L., 2009. Digestive enzymes of eight Amazonian teleosts with different feeding habits. *Journal of Fish Biology* 74, 1620-1628.
- Ma Z., Hassan M. M., Allais L., He T., Leterme S., Ellis A., McGraw B. & Qin J.G. 2019. Comparison of partial replacement of fishmeal with soybean meal and EnzoMeal on growth performance of Asian seabass *Lates calcarifer*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology* 216 29-37.
- NRC, 2011. Nutrient Requirements of Fish and Shrimp. National Academies Press, Washington D.C.
- Zapata, B. B., & W. Vázquez. 2017. Perfil y adaptaciones enzimáticas digestivas en capaz (*Pimelodus grosskopfii*), como repuesta a la composición de la dieta. Tesis de Maestría. Universidad de los Llanos, Instituto de Acuicultura de la Universidad de los Llanos.

Conclusiones Generales

- Dietas compuestas por proteína de origen animal (harina de pescado) y las mezclas de proteína vegetal (soya) / animal (harina de pescado y harina de carne) muestran los mejores resultados en cuanto peso y talla, y dietas compuestas por solo origen vegetal (soya cruda y torta de soya) se observaron los valores más bajos en ganancia de peso y longitud, lo que nos permite inferir que reemplazar una parte de proteína animal por vegetal (mezcla parcial) presenta un buen desempeño en las variables productivas.
- El capaz es una especie que presenta enzimas digestivas de tipo inductivo, por lo que es sensible y se adapta a los cambios en la composición de la dieta, además se observa mayor actividad enzimática en la fase de digestión intestinal, lo que reafirma hábito más de tipo omnívoro que carnívoro.
- El capaz presenta actividad amilohidrolítica, por lo cual se puede concluir que utiliza los carbohidratos de la dieta.
- El capaz muestra la capacidad de asimilar la proteína y los carbohidratos de fuentes de origen vegetal como animal, característica de especies con hábitos de tipo omnívoro.